
Approches organisationnelles pour la conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances; Application aux projets d'ingénierie et d'innovation

Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université de Lorraine

Présenté par

Davy Monticolo

Soutenue le 11 décembre 2015

Composition du jury

Rapporteurs : Pr. Olivier Boissier, ENS Mines de Saint-Etienne
Pr. Abdelziz Bouras, Université de Lyon 2 & Qatar University
Pr. Laurent Geneste, École Nationale d'Ingénieurs de Tarbes

Examineurs : Pr. Eric Bonjour, Université de Lorraine
Pr. Patrick Charpentier, Université de Lorraine
Pr. Ernesto Damiani, Università degli Studi di Milano, Italy

Sommaire

I. Introduction générale	5
1. Introduction	6
1.1 Problématique	6
1.2 Positionnement de mes recherches et rayonnement.....	9
II. Approche organisationnelle pour la conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances.....	15
1. Problématique	16
2. Modélisation des organisations industrielles, de RIOCK à KROM	18
2.1 Le formalisme RIOCK.....	18
2.2 Le méta modèle KROM	21
2.3 Modélisation d'une organisation industrielle avec KROM	25
2.4 Synthèse et analyse (modélisation organisationnelle)	31
3. De la modélisation organisationnelle à la base de connaissances	32
3.1 Les approches de construction d'ontologies	32
3.2 Notre approche de construction d'ontologies	34
3.3 Synthèse et analyse (approche de construction d'ontologies)	42
4. Conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances.....	43
4.1 DOCK, une approche organisationnelle de conception de systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances	44
4.2 Synthèse et analyse (conception de systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances)	54
III : Exploitation des connaissances & Web Intelligence	57
1. Problématique	58
1.1 Premier niveau : Données, Glossaires et Vocabulaires.....	59
1.2 Deuxième niveau : Taxonomie, thésaurus et le langage RDF	59
1.3 Troisième niveau : Modèles Conceptuels et les schémas RDFS	59
1.4 Quatrième niveau : Ontologie et langage OWL.....	60
1.5 Niveau cinq : Modèles logiques et système d'inférences	61
1.6 Niveau six : Preuve & Confiance	61
2. Exploitation sémantique des connaissances issues du Web.....	62
2.1 Stockage des connaissances et annotations.....	62
2.2 Création d'ontologies à l'aide du Web Sémantique pour exploiter les connaissances du Web.	64

3.	Notre approche de gestion des connaissances du Web : Agents et Web Sémantique ..	65
3.1	Extraction des connaissances et annotations sémantiques; le système OCEAN	66
4.	Diffusion et évaluation des connaissances à travers les Wiki Sémantiques	78
4.1	Architecture du Wiki Sémantique	80
4.2	Le niveau représentation des connaissances	80
4.3	Le niveau base de connaissance	81
4.4	La recherche par mot clé à l'aide de SPARQL	82
4.5	Recherche et affichage des types de connaissances pour certains mots	85
5.	Synthèse et analyse (Exploitation des connaissances)	88
Assistance aux communautés ouvertes lors du processus d'innovation et de créativité..		91
1.	Contexte & Problématique	92
2.	Innovation, créativité et conception de produit.....	95
2.1	Créativité organisationnelle	95
2.2	Les systèmes d'aide à la créativité	97
3.	Assistance aux séances de BrainPurge et à la classification des idées	98
3.1	Comparaison sémantique et découverte de thèmes liés au sujet.....	99
3.2	Assistance au BrainPurge et à la clustérisation par thèmes des idées ; expérimentations et retour d'expériences.....	100
4.	Evaluation des idées par rapport au sujet proposé	102
4.1	Comparaison lexicale	103
4.2	Comparaison sémantique	107
4.3	Synthèse et analyse (Approche sémantique et créativité)	109
V. Synthèse des travaux et présentation du projet de recherche		111
1.	Contributions	112
1.1	Modélisation des organisations humaines et conception de systèmes multi agents dédiés à la gestion des connaissances.....	112
1.2	Exploitation des connaissances à travers les ontologies	113
1.3	Approches sémantiques pour supporter le processus de créativité	113
2.	Projet de recherche	114
2.1	Vers une plate-forme multi-agents pour supporter le processus de créativité (Thème 1)	114
2.2	Gestion des connaissances dans les sociétés ouvertes et dans le cadre de l' « Open Innovation ». Concevoir une approche basée sur l'utilisation de systèmes intelligents et sur les avancées du Web Sémantique (Thème 2).	118

Introduction générale

Cette introduction a pour objectif d'expliquer la problématique qui a guidé mes recherches et de définir le contexte scientifique dans lequel mes travaux ont été menés afin de réaliser la synthèse de mes contributions.

1. Introduction

1.1 Problématique

La gestion des connaissances est une opportunité d'amélioration des performances pour les entreprises. En effet, les publications dans la littérature soulignent l'importance de gérer les connaissances soit au niveau individuel, au niveau des groupes de travail dans l'entreprise ou au niveau des échanges avec l'environnement extérieur de l'entreprise. Les professionnels du domaine rencontrent des difficultés à faire la différence entre la gestion des connaissances et la gestion des informations, entre gérer des connaissances explicites ou gérer des connaissances tacites. La technologie et en particulier les sources d'information et leurs flux, évoluant de plus en plus rapidement, la garantie d'une stratégie de gestion des connaissances pérenne dans l'entreprise est à ce jour impossible. Les connaissances sont dynamiques puisqu'elles évoluent continuellement et peuvent être diffusées sous forme d'informations de manière extrêmement rapide à travers le réseau interne de l'entreprise et de plus en plus à travers le gigantesque Web. Ce premier point représente le premier verrou technologique et scientifique de la gestion des connaissances.

L'autre aspect de la gestion des connaissances est celui de la compréhension des mécanismes de création, de partage, de mise à jour et d'évolution des connaissances au sein de l'entreprise. Ces processus sont très complexes lorsque l'on considère qu'ils sont différents au niveau individuel, d'un groupe et au niveau plus large qui est celui du Web. Ce second verrou scientifique doit être considéré en prenant en compte les aspects sociaux et coopératifs des créateurs et utilisateurs de connaissances.

Mes travaux de recherche ont pour objectif d'apporter des contributions sur les deux verrous mentionnés précédemment. Le premier verrou technologique et technique est abordé en utilisant une approche basée sur les systèmes multi-agents (SMA). Ces derniers ont démontré leurs efficacités pour traiter des problèmes complexes. Les SMA sont des sociétés composées d'entités informatiques autonomes et indépendantes qui vont travailler de manière collaborative pour accomplir des objectifs communs (Ferber, 1997; Jennings et al., 1998). Les propriétés des agents permettent à ces derniers d'être utilisés dans de nombreux domaines différents (robotique, simulation, ingénierie, production, logistique) (Grana et al. 2012, Demazeau et al. 2010).

Dans le cadre de mes travaux, je me suis placé dans la perspective du génie logiciel et du génie industriel pour concevoir des systèmes de gestion des connaissances pour l'entreprise et basés sur l'utilisation d'agents. Un agent est une entité logicielle qui a pour propriétés d'être autonome, réactif, pro actif, adaptable et possédant une certaine habilité sociale (Wooldridge 1997).

L'autonomie pour un agent est le fait qu'il puisse prendre ses propres décisions sans l'intervention des utilisateurs ou d'autres agents. L'autonomie est également une propriété des créateurs de connaissances. En effet une partie de la connaissance est créée au niveau individuel et est basée sur nos perceptions, nos savoirs et savoirs faire (Chen et al. 2009).

La réactivité est la capacité pour un agent à percevoir son environnement et à réagir en fonction d'un changement. Cette propriété est également utilisée par les humains lorsque nous

nous appropriions de nouvelles connaissances provenant de notre environnement et que nous sommes en mesure d'adapter nos actions et décisions en fonction de la nouvelle connaissance.

La pro activité est la faculté d'un agent à ne pas seulement répondre à un changement de l'environnement, mais également à agir ou anticiper des changements de l'environnement en fonction de ses objectifs ou de l'interaction qu'il peut avoir avec les autres agents. Ce phénomène est observable également dans les groupes de travail lorsque les acteurs prennent des décisions en utilisant leurs connaissances pour anticiper des actions.

L'adaptabilité de l'agent est caractérisée par le fait qu'il puisse apprendre par lui-même en percevant son environnement ou en apprenant par l'interaction avec les autres agents. Cette adaptabilité s'illustre également en gestion des connaissances lorsque les acteurs métier acquièrent de nouvelles connaissances pour résoudre leurs problèmes.

L'habileté sociale est la capacité d'un agent à interagir, communiquer et suivre des règles sociales (hiérarchie, leadership, coopération) des agents peut être utilisée pour modéliser ou simuler les comportements sociaux et coopératifs des acteurs métier dans l'entreprise lorsqu'ils partagent et diffusent leurs connaissances. Les cinq propriétés des agents expliquées précédemment montrent que l'on peut utiliser ce paradigme pour concevoir des systèmes de gestion des connaissances intelligents adaptables aux technologies et aux langages informatiques actuels.

Comme il est expliqué précédemment, pour concevoir un système de gestion des connaissances il est important de prendre le point de vue « individuel », le point de vue du groupe appelé également « organisationnel » et un point de vue plus large celui des sociétés ouvertes (open societies) (Moldoveanu 2000).

Les sociétés ouvertes sont constituées d'un grand nombre de personnes (par exemple un ensemble d'internautes) et agissent de manière individuel et collective sans qu'aucun des acteurs n'aient en sa possession la vérité ultime. De plus en plus d'entreprises utilisent ce concept pour élargir leurs ressources et obtenir des points de vue différents à grande échelle (Henkel et al. 2014). C'est le cas du concept de Crowdsourcing où l'entreprise fait appel à l'ensemble des internautes pour réfléchir sur de nouveaux concepts, ou obtenir des opinions sur un nouveau produit (Welches 2014, Hodson 2013). Dans ce cadre de société, nous observons donc un ensemble d'individus autonomes, chacun avec des informations limitées, n'étant pas situés dans le même espace (par exemple le Web) et collabore de manière distribuée. Ces environnements ouverts sont très dynamiques puisque les ressources et les acteurs changent régulièrement et sont imprévisibles ce qui rend très difficile la spécification d'un système permettant de détecter les besoins en connaissances de ces acteurs et de les gérer. Les méthodes traditionnelles de modélisation des connaissances sont basées sur le fait que les connaissances du domaine et les acteurs qui les créent et partagent sont stables à un instant donné, ce qui n'est pas le cas pour les sociétés ouvertes. Nous avons donc besoin ici d'un paradigme qui soit en mesure de gérer des connaissances hétérogènes et distribuées dans un environnement dynamique. Les premières propriétés d'un système de gestion des connaissances adapté aux sociétés ouvertes doivent être l'extensibilité et la flexibilité. Le système doit être extensible, c'est-à-dire qu'il ne faut pas figer son architecture afin que celui puisse accueillir de nouveaux agents et de nouvelles interactions. Dans ce type d'architecture, le système doit également devenir flexible c'est-à-dire être en mesure d'accueillir de nouvelles connaissances sans pour autant déstabiliser les interactions et connaissances déjà gérées.

Après avoir listé les deux propriétés des sociétés ouvertes qui sont des concepts de l'entreprise étendue (Braglia et al. 2014), il est nécessaire de revenir aux deux autres points de vue à savoir l'individu et l'organisation afin de traiter la problématique de la gestion des connaissances à l'intérieur de l'entreprise. Les organisations et les individus ont des perspectives différentes concernant leurs interactions et objectifs. Cependant les deux partagent un objectif commun tel que réussir un projet ou développer un nouveau produit. Krichner dans (Krichner et al. 2011) explique que la réussite d'une organisation résulte sur la prise en compte des changements sociaux et que ces derniers doivent être intégrés au système de gestion des connaissances qui supporte les activités de l'organisation. Bakker (Bakker and al. 2009) a analysé les principaux changements requis par les organisations et explique que ces dernières souhaitent aujourd'hui avoir un accès total, rapide et facile à l'information, pouvoir avoir accès à l'information à tout instant, n'importe où et sur des outils différents (ordinateurs, smartphones, tablettes, etc.), pouvoir partager, échanger des savoirs et savoir faire facilement. L'analyse de l'ensemble de ces nouveaux changements permet de déduire et compléter la liste des propriétés du système de gestion de connaissances en y ajoutant l'interopérabilité pour assurer un accès à l'information sur tous supports, à tout endroit et à tout instant. La troisième propriété à ajouter est le dynamisme, c'est-à-dire la capacité à classer la connaissance capitalisée efficacement et dynamiquement afin que les utilisateurs puissent y accéder rapidement et de manière pertinente. La quatrième propriété est l'adaptabilité c'est-à-dire la mise en place d'un environnement adapté facilitant le dépôt de nouvelles connaissances et leurs mises en forme en vue de leurs réutilisations (présentation de processus, formulaires de e-learning, glossaire métier, mémoire de projet, etc.)

Pour compléter cette problématique, nous pouvons préciser que les individus, qu'ils soient dans une société ouverte ou dans l'entreprise, ont pour objectif principal leur développement personnel et leur création. Du point vu individuel, le système de gestion des connaissances doit mettre à disposition des outils innovants et intelligents pour faciliter la créativité des acteurs métier. Du point de vue organisationnel, le système doit fournir des outils et méthodes permettant de supporter le cycle de vie des connaissances à savoir la création, la capitalisation, la diffusion, la mise à jour et l'évaluation. À partir de ces différents points de vue, comment pouvons nous concevoir des systèmes de gestion des connaissances qui puissent prendre en compte les aspects individuels, organisationnels et le phénomène de sociétés ouvertes tout en veillant à ce que le système possède l'ensemble des propriétés relatives à chacun des trois points de vue.

Mes travaux de recherche ont conduit à aborder chacun de ces points et ont naturellement suivi les évolutions dans le domaine de la compréhension des organisations, du traitement de l'information par les systèmes intelligents et l'évolution des sociétés ouvertes.

Mes travaux peuvent être structurés en trois axes que je présenterai dans ce mémoire :

1. L'étude des organisations projets et des aspects sociaux et coopératifs des acteurs métier pour concevoir des systèmes de gestion des connaissances basés sur le paradigme agent et dédié à la création de mémoires organisationnelles. Cette étude a été en partie conduite dans le cadre du projet CoDeKf (Collaborative Design Knowledge Factory).
2. La création de systèmes de gestion des connaissances hétérogènes et distribuées issues de modèles métier différents dans le cadre d'entreprises multisites. Ces travaux basés sur les systèmes multi-agents et l'ingénierie ontologiques ont été conduits dans le cadre

du projet ADN (Alliance de Données Numériques) puis poursuivis dans le cadre des conventions CIFRE avec les sociétés TDC Knowllence et Essilor.

3. L'utilisation d'approches sémantiques et la conception de système multi-agent pour gérer les connaissances dans le cadre de l'open innovation et de la créativité. Ces travaux sont conduits en collaboration avec la chaire de gestion des organisations de l'école polytechnique de Montréal.

1.2 Positionnement de mes recherches et rayonnement

1.1.1 Positionnement au niveau national

Le tableau 1.1 présente une liste non exhaustive des différentes équipes de recherche françaises travaillant sur au moins un des thèmes de recherche abordés dans ce mémoire.

	Intelligence sociale, Intelligence collective	Agent et modèles organisationnels	Agent et gestion des connaissances	Agents autonomes	Modélisation du comportement humain	Web sémantique et ontologie	Ingénierie et partage des connaissances	Gestion des connaissances	Web Intelligence	Créativité et IA
AIDR - Paris <i>Agents Interactions Decision Raisonement</i>										
MAGMA – Grenoble <i>Equipe Système Multi-Agents</i>										
ADRIA Toulouse <i>Argumentation, Decision, Raisonement, Incertitude, Apprentissage</i>										
ICubee-BFO – Strasbourg <i>Bioinformatique théorique, Fouille de données et optimisation stochastique</i>										
ERIAS – Bordeaux <i>Informatique Appliquée à la Santé</i>										
ERIC – Lyon <i>Entrepôts, Représentation et Ingénierie des Connaissances</i>										
ICI – Compiègne <i>Information, Connaissance, Interaction</i>										
Lip6 - Paris <i>Laboratoire Info. Paris 6</i>										
LIRMM – Montpellier <i>Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier</i>										
LIG-Grenoble <i>Laboratoire d'Informatique de Grenoble</i>										
CI-Saint Etienne <i>Equipe Connected Intelligence, laboratoire Hubert Curien</i>										
WIMMICS-Sophia Antipolis <i>Equipe Web-Instrumented Man-Machine Interactions, Communities and Semantics</i>										
SDC Tarbes <i>Equipe Expériences, Connaissances et Compétences- Laboratoire LGP</i>										

Tableau 1.1 : Laboratoires de recherches français travaillant sur les thèmes de recherche abordés dans ce mémoire

Le tableau 1.1 démontre que la communauté scientifique française est très mobilisée dans le domaine des systèmes multi-agents et de l'ingénierie des connaissances. Plusieurs équipes de recherche ont choisi des axes de recherche concernant les approches de modélisation des organisations humaines et de conception de systèmes intelligents pour la gestion des connaissances. Les conférences annuelles JFSMA (Journées Francophones sur les

systèmes Multi-Agents) et Ingénierie de Connaissances démontrent l'intérêt et le dynamisme de la communauté française. Ces conférences et thématiques sont encouragées et supportées par les actions de l'AFIA¹ (Association Française pour l'Intelligence Artificielle) dont je suis un membre du conseil d'administration depuis 2010. D'autres groupes de travail tels que EGC (Association internationale francophone d'Extraction et de Gestion des Connaissances) et C2EI² (Modélisation et pilotage des systèmes de connaissances et compétences dans les entreprises industrielles) du GDR MACS, dans lesquels j'ai eu l'occasion de présenter mes travaux et de participer aux échanges scientifiques de 2006 à 2010, ont pour objectif de promouvoir des échanges multidisciplinaires sur la gestion des connaissances et compétences entre les chercheurs et les spécialistes en entreprise. De plus le réseau Web Intelligence en Rhones-Alpes³, avec ses journées thématiques et ses écoles d'été, m'a permis d'élargir mes connaissances et d'appréhender l'importance des approches ontologiques et l'utilisation des systèmes multi-agents pour le Web et ses communautés.

1.1.2 Positionnement au niveau international

Il existe des centaines de conférences internationales abordant une ou plusieurs thématiques de l'Intelligence Artificielle dont 57 d'entre elles ont la notation la plus élevée (A+) d'après l'association australienne CORE (Computing Research & Education)⁴. Les conférences relatives à mon domaine de recherche sont KR (International Conference on the Principles of Knowledge Representation and Reasoning), SIGKDM (ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining), AAMAS (International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems), etc.

En ce qui concerne le domaine des systèmes multi agents dédiés à la gestion des connaissances une communauté fut créée autour du Workshop AMKM (Agent Mediated Knowledge Management) de 2003 à 2005. Depuis, il n'existe pas d'événement international dédié à la recherche sur les agents et la gestion des connaissances. Les travaux sur ce thème sont diffusés soit dans des conférences dédiées à l'intelligence artificielle, aux systèmes multi-agents ou à l'ingénierie des connaissances. Le workshop international KARE⁵ (Knowledge Acquisition Reuse and Evaluation) a également pour objectif de rassembler une communauté autour de la gestion des connaissances et des systèmes intelligents. J'organise ce workshop chaque année, dans différents pays, depuis 2008 ce qui me permet de découvrir de nouveaux travaux internationaux, soit en ingénierie des connaissances, soit sur les systèmes multi-agents.

Par ailleurs, dans le cadre d'une mobilité internationale réalisée en 2014, j'ai travaillé avec l'équipe MapleCG (Multi-Agent Planning, Learning and Coordination Group) de l'Université Nationale de Singapour sur les coordinations et les interactions entre les agents dans le cadre de systèmes de gestion distribuée de connaissances.

En 2014, je me suis intéressé à l'analyse des organisations humaines complexes dans le cadre d'une mobilité internationale à l'École Polytechnique de Montréal pour travailler

¹ <http://www.afia.asso.fr>

² <http://www.univ-valenciennes.fr/gdr-macs/node/4410>

³ <http://www.web-intelligence-rhone-alpes.org/>

⁴ <http://www.core.edu.au/>

⁵ <http://www.sitis-conf.org/en/kare-15.php?Preview=ok>

avec le professeur Mario Bourgault et son équipe au sein de la chaire de recherche canadienne en gestion de projets technologiques.

1.1.3 Participation à des projets scientifiques et contributions

Suite à mes travaux de thèse de doctorat, portant sur la conception d'un système multi-agent pour créer des mémoires organisationnelles à partir de systèmes d'Information de type PLM, je me suis intéressé à adapter des méthodes de construction d'ontologies de domaine aux entreprises. Lors du projet CodeKF⁶ (Collaborative Design and Knowledge Factory) et du co-encadrement de thèse de Monsieur Julien Badin, thèse réalisée dans le cadre d'une collaboration CIFRE avec l'entreprise DPS (Digital Product Simulation) nous avons travaillé sur la construction d'une ontologie dans le domaine de la conception automobile afin de proposer un système de gestion de configurations de connaissances. Les contributions principales de cette thèse soutenue en 2013 sont :

- Un métamodèle appelé KCMModel pour modéliser les connaissances contenues dans les différents modèles Métier (acoustique, mécanique, thermique, etc.) lors des projets de conception automobile (Badin et al. 2011) ;
- Une méthode appelée KCMMethod pour identifier, capitaliser, organiser les connaissances en configurations ;
- Un système intelligent appelé ADES (Alliance des Données Élémentaires de Simulation) permettant de gérer, exploiter et assurer la cohésion entre des configurations de connaissances (Monticolo et al. 2015).

De 2010 à 2013, j'ai participé au projet ADN (Alliance de Données Numériques) financé par le FUI9 et labélisé par les pôles de compétitivité SYSTEMATIC, Véhicule du Futur et I-Trans. Dans le cadre de ce projet j'ai co-encadré la thèse de Mademoiselle Inaya Lahoud soutenue en 2013. Dans le cadre de ces travaux de recherche, nous avons travaillé sur la conception d'un système intelligent permettant la gestion des connaissances hétérogènes et distribuées dans l'entreprise. Les principales contributions de ces travaux sont :

- Le développement d'un système multi-agent appelé OCEAN pour assister les experts métier à créer des ontologies de domaines (Lahoud et al. 2012a) ;
- Une approche sémantique pour extraire des connaissances provenant de différentes sources d'information basée sur la transformation d'ontologie en modèles de requêtes (Lahoud et al. 2012b) ;
- Un système de diffusion, de mise à jour et d'évaluation des connaissances basée sur un wiki sémantique (Lahoud et al. 2014) ;

Après avoir travaillé sur la construction des ontologies et les transformations sémantiques, j'ai approfondi ces approches dans le cadre de l'analyse de traces d'activités et la reconstruction de processus métier à partir d'ontologie permettant de décrire les logiques de

⁶ <http://www.codekf.org/>

conception. Ces travaux ont été réalisés dans le cadre d'un projet financé dans le cadre d'une convention CIFRE avec la société TDC Knowllence⁷ et de la thèse de Mademoiselle Hind Darwich soutenue en 2014. Les principales contributions de ces travaux sont :

- La construction d'une ontologie permettant de décrire les connaissances utilisées dans les méthodes de conception de produit afin de permettre d'analyser et exploiter des traces d'activités ;
- La conception d'un système multi-agent permettant de construire des processus Métier à partir de traces d'activités (Monticolo et al. 2014) ;
- La spécification d'un système d'assistance à la réutilisation et à la mise en place de processus métier en fonction des rôles des acteurs métier.

Ces travaux sur la reconstitution de processus métier en fonction des rôles des acteurs métier et à partir des traces d'activités, m'ont permis de m'interroger sur l'importance de l'utilisation des compétences et des connaissances par les acteurs métier lors de leurs activités. J'ai ainsi co-encadré la thèse de Monsieur Julien Girondon lors du projet de collaboration CIFRE avec l'entreprise Essilor⁸. Ces travaux de recherches se sont centrés sur le déploiement d'un système intelligent et de méthodes pour évaluer et optimiser les performances d'une organisation en fonction des compétences et des connaissances utilisées par les acteurs métier à travers leurs différents rôles. Les principales contributions de cette thèse soutenue en septembre 2015 sont :

- La proposition d'un métamodèle appelé KROM permettant de modéliser une organisation en mettant en évidence les concepts de connaissances et compétences liés aux rôles des acteurs (Girondon et al. 2012) ;
- La proposition d'une méthode de conception de système multi-agents appelée DOCK pour la gestion des connaissances basée sur une modélisation organisationnelle (Girondon et al. 2015) ;
- Une méthode d'évaluation des performances d'une organisation appelée ACKME ;

À la suite des différents travaux de thèses que j'ai pu encadrer, des mobilités internationales que j'ai réalisées, des conférences internationales que j'ai organisé, et à travers les différents réseaux de recherches nationaux auxquels j'appartiens, mes travaux de recherches se sont progressivement orientés vers une problématique déclinée en trois axes de recherches suivants (Figure 1.0) :

- L'étude des organisations humaines afin de comprendre les mécanismes de création, de partage et de réutilisation des connaissances à travers les rôles des acteurs métier ;

⁷ www.knowllence.com

⁸ www.essilor.fr

- La conception et le développement de systèmes multi-agents pour gérer les informations utilisées dans les organisations humaines, assister les acteurs métier à capitaliser, évaluer et réutiliser leurs connaissances ;
- La construction de bases de connaissances, sous forme d'ontologies afin de structurer, représenter et exploiter les connaissances issues des organisations humaines et utiles au système à base de connaissances.

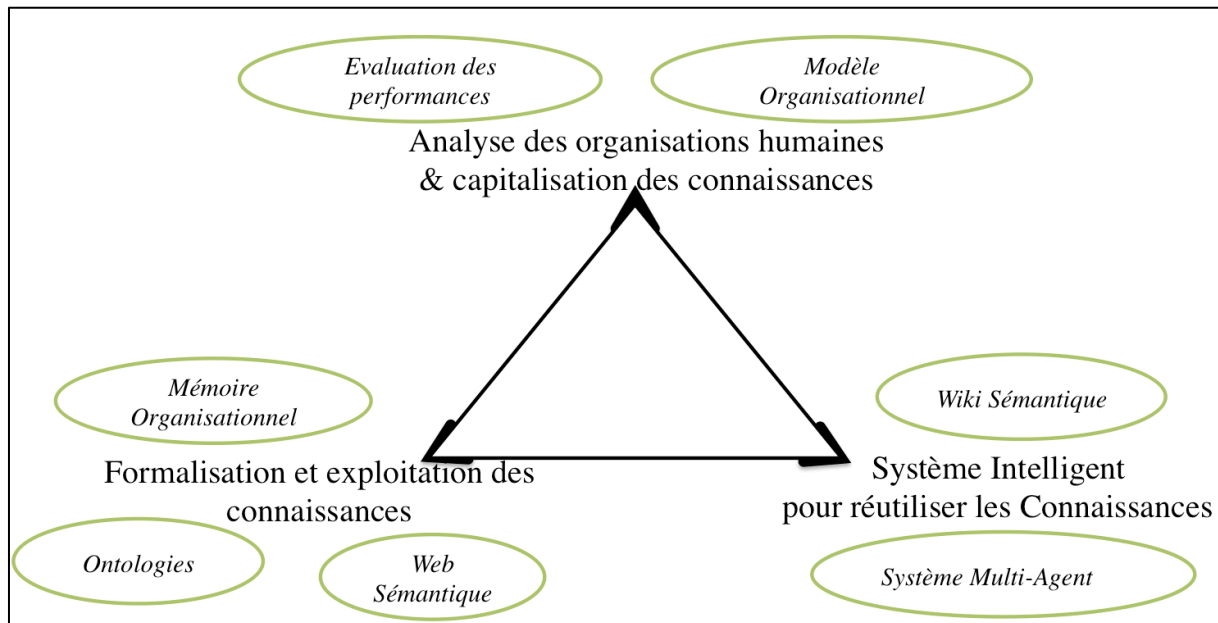


Fig. 1.0 : Problématiques de recherche abordées dans ce mémoire

Ce mémoire comporte trois chapitres présentant mes contributions par rapport aux trois axes de recherche présentés précédemment. Chaque présentation de contribution est suivie d'une discussion permettant de positionner mes travaux de recherche par rapport aux travaux existants.

Le premier chapitre propose un méta modèle facilitant la modélisation des organisations humaines dans les entreprises. Ce métamodèle est associé à une méthode de modélisation permettant d'appréhender plusieurs vues d'une organisation humaine. Le modèle organisationnel obtenu permet de mettre en évidence les connaissances et les compétences des acteurs humains. Ce modèle organisationnel représente un double intérêt ; il est le point de départ pour pouvoir construire une base de connaissances sous forme d'ontologie, mais il représente également une base pour la conception et la spécification de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances. Ce premier chapitre présente donc également une approche de construction d'ontologie et une méthode de conception de système multi agent dédié à la gestion des connaissances à partir du modèle organisationnel.

Le second chapitre aborde la problématique de la construction d'une base de connaissances et l'exploitation de ces dernières à l'aide des langages du Web Sémantique. Après avoir décrit les différents types de langages permettant de formaliser, structurer et représenter les connaissances, nous présentons les mécanismes d'exploitation de ces dernières par un système multi-agent en utilisant des approches sémantiques.

Le troisième chapitre expose la complexité de la gestion des idées et connaissances dans une organisation créative. Nous expliquons ici le processus utilisé lors d'un challenge de créativité où les connaissances utilisées permettent de générer des idées. Nous présentons notre approche basée sur l'utilisation des méthodes sémantique et du paradigme agent pour assister une organisation créative à générer, gérer, évaluer et mettre en valeur ses idées.

Chapitre I

Approche organisationnelle pour la conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances

Ce chapitre présente ma contribution dans la conception d'ontologies et de système multi-agents dédiés à la gestion des connaissances à l'aide d'approches organisationnelles. En effet l'étude et la modélisation des organisations humaines facilitent la compréhension des mécanismes de création et de partage des connaissances entre les acteurs humains. Cette modélisation est un premier pas vers la spécification des connaissances échangées par les humains à travers la proposition d'un vocabulaire et d'une sémantique précise c'est-à-dire la création d'ontologies de domaine. De plus la modélisation des organisations humaines est utile pour décrire les interactions entre les acteurs métier, leurs rôles, leurs objectifs et les informations qu'ils échangent. Toutes ces caractéristiques sont nécessaires pour spécifier un système intelligent basé sur le paradigme agent dédié à la gestion des connaissances. Ce système multi-agent utilise des bases de connaissances construites sous forme d'ontologie pour capitaliser, sauvegarder, exploiter les connaissances et proposer une aide à leurs réutilisations.

1. Problématique

Lors de ces vingt dernières années, les approches, outils et méthodes pour la gestion des connaissances ont beaucoup évolué. Le domaine a suivi l'évolution des nouvelles technologies de l'information et de la communication. Les méthodes de capitalisation des connaissances basées sur les entretiens d'experts ne suffisent plus pour obtenir une vision globale des connaissances créées et partagées dans une organisation. En effet, les habitudes de travail ont évolué dans les entreprises ainsi que les méthodes de partagent et de diffusion de l'information. On observe aujourd'hui à l'intérieur des entreprises des habitudes influencées par l'évolution du Web (blogs, Wikis, flux RSS, plateformes de réseaux sociaux, Potcasts, Vidéos en ligne). Les acteurs métier utilisent ces canaux d'échange ou d'appropriation d'information comme des moyens de collaboration, et d'organisation pour leur travail. De plus ils souhaitent obtenir les informations et connaissances dont ils ont besoin le plus rapidement et facilement possible, à n'importe quel moment et de n'importe où. Les connaissances doivent ainsi être accessibles depuis l'intérieur et l'extérieur de l'entreprise.

Par ailleurs, l'évolution du domaine de la gestion des connaissances suit l'évolution des nouveaux moyens d'interactions entre les acteurs métier à travers les réseaux sociaux, la communication relayée par les technologies mobiles (Smartphones, tablettes, objets connectés, etc.). On assiste à une évolution très rapide des moyens de création, partage et diffusion des connaissances au sein des organisations humaines. Ces évolutions doivent être prises en compte pour concevoir et développer les nouveaux systèmes de gestion des connaissances qui intègre à la fois l'importance de ces aspects sociaux et les nouvelles avancées technologies influent sur les pratiques de communication (Sultan 2013), (Luo et al. 2015), (Pan et al. 2015). Ces systèmes doivent être centrés sur l'organisation puisqu'ils doivent comprendre les habitudes de travaux et les interactions des acteurs métier au sein de l'organisation tout en étant en mesure d'exploiter les connaissances hétérogènes provenant de différentes sources d'information (logiciels métier, vidéos, maquettes numériques, wikis, etc.) La connaissance n'est donc plus issue de quelques experts, mais de tous les membres de l'organisation. Un réseau de confiance s'installe dans l'organisation et aujourd'hui la connaissance diffusée n'est pas vérifiée, mais fait l'objet d'un consensus au niveau de la communauté d'acteurs (Park et al. 2014), (Chai et al. 2014).

Les connaissances créées par les acteurs métier ne sont plus seulement destinées à créer un capital intellectuel autour d'un produit ou d'un service, mais servent également de base pour faire évoluer l'organisation entière à travers l'émergence de nouveaux modèles métier, rôles, comportements, compétences et moyens d'interactions (Damiani et al. 2015, Azzini et al. 2015). Il est donc important de modéliser au mieux les organisations humaines afin d'obtenir des modèles qui facilitent la compréhension des rôles joués par les acteurs métier, des compétences qu'ils utilisent pour réaliser leurs activités, des connaissances qu'ils créent à travers leurs missions et interactions.

De nombreux modèles organisationnels sont proposés dans la littérature intégrant les métaphores sociales en prenant en compte la description des rôles, la notion de groupe, de communauté, de compétences de collaboration, etc. Cependant nous avons un besoin continu de faire évoluer ces modèles pour faire face aux nouveaux modes de communication et habitudes décrites dans le paragraphe précédent. Il s'agit aujourd'hui de définir les frontières

de ce qu'est une organisation à l'heure du Web des objets et quelles sont ces nouvelles règles de fonctionnement.

Dans la littérature et les différents travaux de recherche, nous observons plusieurs propositions de métamodèles organisationnels, c'est-à-dire de modèles constituant un formalisme et un langage permettant de construire un modèle organisationnel. Ces langages permettent d'homogénéiser la définition de plusieurs modèles organisationnels inspirés par les approches MDE – Model Driven Engineering (Coutinho et al. 2008).

Les modèles organisationnels construits sont ensuite conçus pour partager un ou plusieurs points de vue et expliciter certains mécanismes d'interactions entre les acteurs métier d'une organisation. Nous observons plusieurs sens derrière le mot « organisation ». Certains associent à ce mot des termes tels que personnes, produits, services, structures d'entreprises, culture, aspects sociaux, leadership, etc. Nous reprenons la définition de Augier (Augier 2013) expliquant que les organisations sont des entités sociales conçues avec des structures et des systèmes de coordinations permettant d'accomplir des buts communs.

Les modèles organisationnels utilisés dans le domaine du Knowledge Management sont centrés sur les connaissances liées aux personnes, aux activités à travers les processus d'entreprises, et aux produits (Mariel et al. 2014, Monticolo et al. 2015, Azzini et al. 2015) développés dans l'entreprise. Le modèle organisationnel de (Paul and Anantharam 2003) est centré sur l'identification des connaissances liées à la productivité des employés, la qualité du produit et les temps de développement du produit. Un autre point de vue est abordé avec le modèle de (Jackson et Schuler 2009) qui prend en compte la confiance dans l'organisation, la qualité de vie au travail des employés et les facteurs de résolution de problème en groupe. Le modèle de Amstrong (Amstrong 2009) est plus complet puisqu'il permet d'analyser le point de vue humain (compétences, motivation, engagement), le point de vue métier (productivité, qualité, satisfaction client) et le point de vue financier (profit, ventes et éléments du marché). Enfin le modèle « Stakeholder » (Tongo 2012) permet d'analyser les connaissances issues de quatre axes ; les connaissances détenues par les acteurs de l'entreprise par rapport aux produits concurrents, par rapport aux marchés, aux technologies utilisées pour développer les produits et par rapport aux environnements extérieurs (partenaires, fournisseurs, clients).

D'autres modèles organisationnels ont été proposés, mais cette fois dans le domaine des systèmes multi-agents. L'origine de ces modèles remonte aux années 90 où certains travaux dans les systèmes multi-agents se sont inspirés de la théorie des organisations pour définir des organisations d'agents c'est-à-dire des groupes d'agents, entités informatiques qui interagissent les uns avec les autres et coordonnent leurs comportements pour accomplir des objectifs collectifs (Ferber et al. 2004). Les modèles organisationnels proposés lors de ces recherches fournissent un cadre conceptuel ou langage de modélisation (Guizzardi 2007) pour spécifier les mécanismes de coordinations, de répartitions des tâches dans les sociétés d'agents, c'est-à-dire définir l'architecture du système. Ces modèles décrivent la structure organisationnelle c'est-à-dire à quelle organisation l'agent appartient, quels sont ces objectifs et ses fonctions. Ces dimensions sont prises en compte dans les modèles AGR – Agent Group Role (Ferber et al., 2004), RIO (Hilaire et al. 2000) et TAEMS – Task Analysis Environment Modeling and Simulation (Decker, 1996; Lesser et al., 2004)). D'autres modèles tels que MOISE+ Model of Organization for multi-agent SystEms (Hubner et al. 2002), ISLANDER (Esteva et al. 2002) et OperA – Organizations per Agents (Dignum, 2004) prennent en compte les aspects normatifs c'est-à-dire la description des mécanismes d'interactions entre les différents agents dans l'organisation.

Nous distinguons donc deux types de modèles organisationnels, ceux utilisés dans le domaine de l'ingénierie des connaissances qui permettent de décrire une organisation humaine en mettant en évidence les connaissances échangées et ceux utilisés pour la conception de systèmes multi agents qui permettent de spécifier les mécanismes de coordination, de distribution des tâches afin d'obtenir une architecture logicielle. Afin de concevoir un système intelligent pour la gestion des connaissances en entreprises, nous proposons d'utiliser l'approche organisationnelle en reprenant l'objectif des modèles organisationnels utilisés en gestion de connaissances c'est-à-dire de pouvoir modéliser une organisation humaine en mettant en évidence les connaissances utilisées, mais également de déterminer un langage permettant la spécification du système multi agents. Notre approche consiste à proposer un métamodèle organisationnel ayant trois objectifs :

1. Analyser et modéliser les organisations industrielles humaines telles qu'une équipe projet ou un département d'entreprise afin d'obtenir une cartographie des connaissances créées, utilisées et partagées au sein de cette organisation ainsi qu'une représentation des mécanismes d'échanges et de collaborations entre les acteurs .
2. Définir un vocabulaire et une sémantique pour structurer, sauvegarder, exploiter et réutiliser les connaissances identifiées dans le modèle organisationnel. Cette démarche permet la création d'une base de connaissances sous la forme d'une ontologie de domaine.
3. Spécifier un système multi-agent dédié à la gestion des connaissances pour l'organisation industrielle utilisée. En effet les agents sont caractérisés en fonction de la modélisation des acteurs humains issue du modèle organisationnel et gèrent et exploitent les connaissances définies dans l'ontologie de domaine afin d'assister les acteurs métier.

Dans la suite de ce chapitre nous présenterons le méta modèle organisationnel KROM permettant de modéliser une organisation industrielle. Ensuite, dans la section trois, nous détaillons notre démarche de construction d'une ontologie à partir du modèle organisationnel obtenu et permettant de spécifier la base de connaissances. Enfin dans la section quatre, nous présentons notre approche appelée DOCK pour la spécification du système multi agent dédié à la gestion des connaissances à partir du modèle organisationnel KROM.

2. Modélisation des organisations industrielles, de RIOCK à KROM

2.1 Le formalisme RIOCK

Nos premiers travaux sur la modélisation des organisations industrielles nous ont conduits à nous inspirer du métamodèle organisationnel RIO (Hilaire et al. 2000). Rappelons que les concepts de base de ce modèle sont l'organisation, l'interaction et le rôle. Les trois concepts du métamodèle RIO conviennent parfaitement pour modéliser un processus industriel (Ben Milled et al. 2009). En utilisation RIO, nous décrivons une activité industrielle par une organisation. Dans cette organisation nous représentons les rôles des acteurs métier en interaction. L'interaction symbolise la collaboration entre les acteurs qui s'exprime par la réalisation d'un livrable (objectif de l'organisation\activité) et le partage des connaissances entre les rôles. Ainsi, à l'aide de RIO, nous représentons une phase d'un processus industriel

par une organisation divisible en activités qui sont elles-mêmes représentées par des organisations. Ces organisations sont dépendantes entre elles, puisqu'elles appartiennent à la même organisation mère. Ainsi, chaque activité d'un processus industriel peut être raffinée en plusieurs organisations. Lors de notre démarche, nous avons modélisé une activité pour une organisation. L'activité dans le processus industriel a une granularité suffisante pour représenter les rôles des acteurs et leurs interactions. Toutefois certaines activités faisant intervenir de nombreux rôles, ont été raffinées afin de représenter quels rôles étaient en interaction dans le groupe.

2.1.1 Les notions de compétences et de connaissances associées au rôle

L'approche organisationnelle met l'accent sur les rôles assurés par les acteurs métier participant à un projet de conception. Nous pensons qu'un rôle se sert d'une ou de plusieurs de ses compétences pour atteindre les objectifs de l'organisation. Chaque compétence est mise en œuvre à l'aide des connaissances que détient le rôle. Par exemple, un dessinateur CAO peut se servir de sa compétence 'Établir une maquette numérique du produit' uniquement s'il possède les connaissances relatives à la géométrie du produit. Le métamodèle RIO ne permet pas de représenter explicitement les compétences et les connaissances utilisées par le rôle lorsque celui-ci interagit avec d'autres rôles dans la même organisation. Nous avons donc proposé le modèle RIOCK (Ben Milled et al. 2009) mettant en évidence la notion de compétence et connaissance.

2.1.2 La compétence

Lors de l'exécution de leurs processus métier, les acteurs utilisent plusieurs compétences pour réaliser leurs activités métier. La compétence est définie au niveau individuel de la manière suivante :

Définition « *la compétence est la capacité pour un individu de mettre en œuvre ses connaissances et de valoriser son savoir-faire dans un cadre professionnel* » (Le Boterf 02).

La compétence est donc vue comme une action que l'acteur est en mesure de réaliser en utilisant une ou plusieurs de ses connaissances. Ainsi, nous prenons en compte, dans le modèle organisationnel RIOCK, le concept de 'Compétence' associé au rôle.

La figure 1.2 présente le concept de compétence dans le modèle organisationnel. La compétence comporte un verbe symbolisant une action. Il correspond à l'action que peut réaliser le rôle dans l'organisation. Par exemple, la compétence être capable d' « Analyser le besoin client » signifie que le rôle auquel elle est associée est en mesure de réaliser l'action correspondante c'est-à-dire l'analyse du besoin client. Un rôle acquiert ainsi des compétences lorsqu'il participe aux activités métier et qu'il réussit à atteindre l'objectif fixé. Par exemple, le rôle « Assistant technique commercial » qui participe à l'activité « Analyser le besoin client » et qui réussit dans la mission confiée acquiert la compétence qui consiste à « être capable d'analyser le besoin client ». Par conséquent, à l'intérieur d'une organisation, nous modélisons le rôle avec la ou les compétences qu'il utilise pour satisfaire les objectifs de l'organisation.

2.1.3 La connaissance

La compétence utilisée par le rôle nécessite une ou plusieurs connaissances pour être mise en œuvre. Chaque compétence est ainsi associée à une série de connaissances permettant

de la caractériser. Le diagramme UML de la figure 1.1 décrit le modèle RIOCK en représentant les notions de compétence et de connaissance associées au rôle. Un rôle possède une ou plusieurs compétences dans l'organisation. Chaque compétence requiert une ou plusieurs connaissances pour être utilisée. Ces connaissances sont partagées lors de l'interaction entre les rôles.

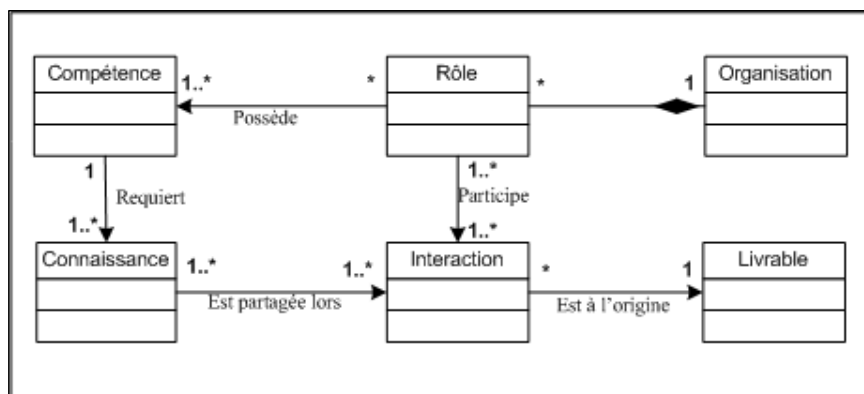


Fig. 1.1 : Modèle RIOCK et notions de Compétence et de Connaissance

La connaissance est l'interprétation par un acteur métier d'une information définie dans un contexte précis. Pour chaque organisation, nous prenons en compte la notion de « connaissances » telle qu'elle est définie devant les travaux de Von Krogh (Von Krogh et al. 95) qui, à travers le concept d'« autopoïèse », suggère que par essence la connaissance ne peut être transmise et reconnue que par l'interaction. Le même point de vue est partagé par Durand (Durand et al. 97) qui explique que la connaissance est une composante de la « Compétence » et qu'elle est créée lors de l'apprentissage par interaction, c'est-à-dire par la création et le partage des connaissances entre les acteurs.

La figure 1.2 propose une représentation graphique d'une organisation selon le modèle RIOCK. L'organisation est représentée dans un cadre principal. Elle est composée de rôles représentés par des rectangles. Un rectangle dont les contours sont en pointillés correspond à un rôle environnemental. Chaque rôle possède au moins une compétence représentée par son intitulé souligné. La compétence peut être lu en y associant l'expression « être capable de ». Par exemple, la compétence 'Rédiger le cahier des charges' signifie : être capable de 'Rédiger le cahier des charges'. Chaque compétence est agrégée d'au moins une connaissance introduite par le symbole '⌘'. L'interaction est illustrée par un cercle relié par des segments aux rôles. Un rectangle aux extrémités arrondies est également relié à ce cercle. Il représente les résultats de l'interaction avec, dans sa partie supérieure, le livrable, c'est-à-dire l'objectif de l'organisation et dans sa partie inférieure, la liste des connaissances associées au résultat de l'interaction entre les rôles.

Dans le modèle organisationnel, la connaissance peut être vue comme une composante du rôle associée à une des compétences qu'il utilise. Dans l'exemple de la figure 2.2, nous observons deux rôles, le chef de projet et le client, travaillant ensemble pour réaliser l'objectif de l'organisation qui est « Élaborer le planning ». Pour ce faire, le chef de projet a besoin de connaissances telles que la liste des tâches, la durée des tâches et les antécédents c'est-à-dire les tâches qui sont reliées à d'autres tâches. Le client fournit des connaissances concernant la liste des contraintes de temps ainsi que la liste des livrables qu'il attend d'ici la fin du projet. Les connaissances sont ainsi partagées lors des interactions entre ces deux rôles. Pour atteindre les objectifs de l'organisation, les deux rôles ont besoin de fournir des actions

qui s'expriment à travers leurs compétences. Dans l'exemple le chef de projet utilise deux de ses compétences « Créer le réseau de PERT » et « Construire le diagramme de GANTT » pour pouvoir créer le planning qui est le but de l'organisation. Le planning résultant du travail entre les deux rôles devient ainsi une connaissance partagée.

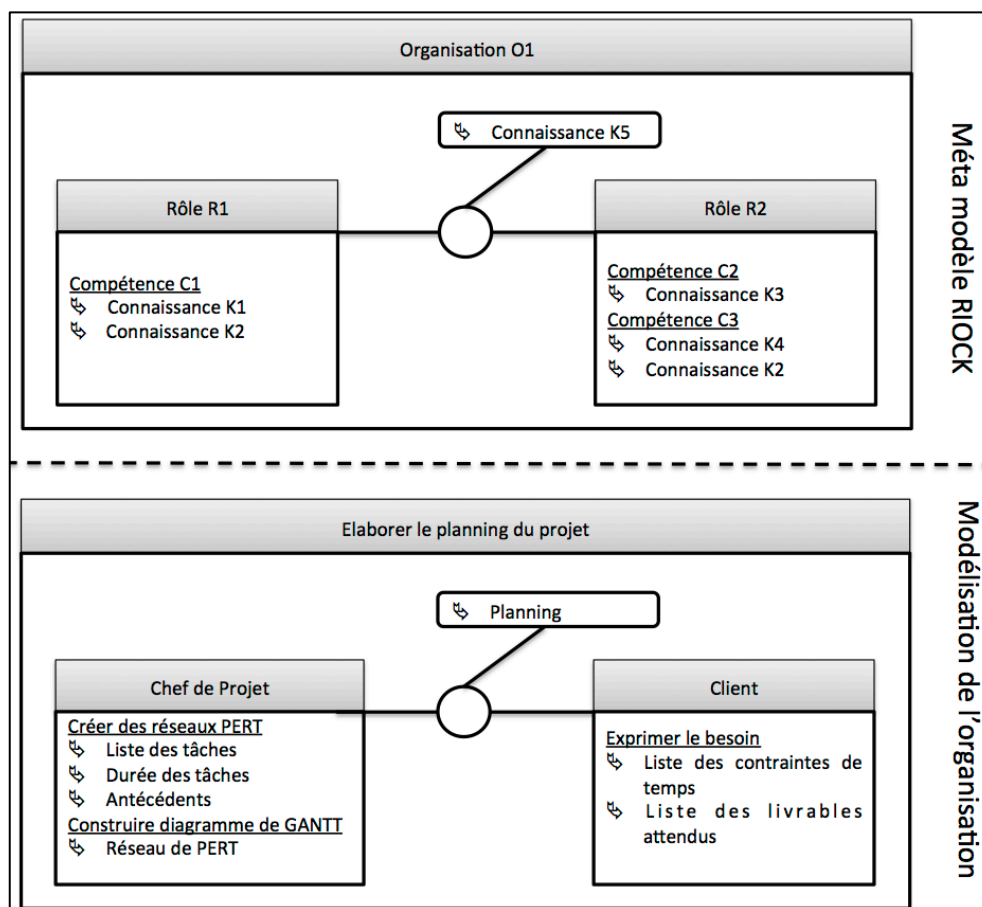


Fig. 1.2 : Représentation graphique d'une organisation RIOCK

Le modèle organisationnel RIOCK nous a permis de modéliser le processus de conception d'une entreprise (Ben Milled et al. 2009, Monticolo et al. 2008) et de pouvoir cartographier les connaissances à capitaliser en fonction des compétences et des rôles des acteurs métier durant leurs activités professionnelles. Le méta modèle RIOCK convient à la modélisation et à l'identification des connaissances, mais reste limité pour la spécification d'un système à base de connaissances puisqu'il ne décrit pas l'ensemble des caractéristiques de l'organisation telles que les objectifs, les missions, les livrables, etc. Lors des travaux sur la gestion des connaissances conduits en collaboration avec l'entreprise Essilor, nous avons élaboré un méta modèle permettant de modéliser un processus industriel sous différents points de vue. Dans la section suivante, nous présentons ce méta modèle appelé KROM (Girodon et al. 2012) qui est une extension de RIOCK.

2.2 Le méta modèle KROM

Dans les organisations industrielles, les connaissances sont hétérogènes puisqu'ils proviennent de différentes sources d'information (logiciels professionnels, applications, données du Web, etc.) et sont stockées sous différents formats. Par ailleurs, ces connaissances sont distribuées à travers le réseau de l'entreprise et accessibles aux acteurs métiers en

fonctions de leurs rôles et responsabilités. Le modèle conceptuel KROM contribue à la clarification de plusieurs éléments en vue d'être utilisé par la suite comme support à la spécification de bases de connaissances et de systèmes multi agents dédiés à la gestion des connaissances. Pour cela KROM a pour objectifs :

- De contribuer à une meilleure compréhension de l'ingénierie de l'organisation sur la base des connaissances et des compétences.
- D'apporter une définition claire des concepts utilisés par la modélisation d'organisations orientée connaissances et compétences.
- De mettre en évidence l'ensemble des concepts permettant de comprendre les mécanismes collaboratifs de création, de partage et d'utilisation des connaissances en fonction des rôles des acteurs métier dans l'entreprise.

KROM est un modèle conceptuel dédié à la modélisation des organisations sur la base des connaissances et des compétences. De ce fait, il s'appuie sur des éléments tels que l'activité et le processus ; mais il présente également des éléments plus spécifiquement orientés sur la définition du concept de rôle et des interactions connaissances et compétences.

KROM est basé sur l'utilisation de treize concepts qui peuvent être ensuite déclinés et instanciés dans la modélisation organisationnelle d'une entité. Les treize concepts se répartissent sur trois grands domaines qui représentent trois grands points de vue pour considérer une organisation : Le point de vue « Organisation », le point de vue « Connaissance » et le point de vue « Compétence ». Nous détaillons l'ensemble des treize concepts dans la suite du document.

2.2.1 L'organisation

L'organisation est définie dans le modèle KROM comme une entité structurée qui se compose d'un ensemble d'acteurs partageant des objectifs communs et des moyens mis à disposition par l'organisation. C'est l'élément structurel qui apporte un positionnement et une visibilité marquée aux autres concepts qui lui sont rattachés dans le modèle. Nous avons identifié trois grandes catégories d'organisation dans l'entreprise :

- Un *département*, qui est défini comme une entité fonctionnelle et/ou opérationnelle formée par un ensemble d'acteurs étant sous la responsabilité d'un unique responsable.
- Une *équipe*, qui est composée d'un ensemble d'acteurs qui concourent à réaliser un travail collectif répondant à un objectif commun.
- Une *communauté*, qui est composée d'un ensemble d'acteurs ayant des centres d'intérêt, des orientations, ou des façons de penser similaires. Ces acteurs s'associent donc ponctuellement pour adresser des actions répondant à ces centres d'intérêt commun.

2.2.2 La mission

La mission correspond à ce qui est accompli par l'organisation, c'est sa raison d'être et son cœur d'activité. Ainsi une organisation peut accomplir une à plusieurs missions. Ce sont

ces dernières qui donnent un cadre directeur et le sens de leurs contributions aux équipes appartenant à l'organisation. Ces dernières peuvent contribuer de manière ponctuelle ou continue à une ou plusieurs missions définies par l'organisation.

2.2.3 L'objectif

Chaque mission est définie par un ou plusieurs objectifs. Un objectif définit un but à atteindre pour l'organisation, c'est un engagement en termes d'actions à entreprendre. Un objectif est mesurable, réalisable, réaliste et a une durée déterminée. Une organisation vit et perdure par les objectifs qu'elle doit remplir.

2.2.4 Le processus

Un processus est un ensemble d'activités reliées entre elles par des flux d'informations qui se combinent pour fournir un produit matériel ou immatériel. Ainsi une organisation définit et suit un à n processus pour réaliser ses missions. Mais en même temps un processus peut être commun à plusieurs organisations. Ainsi le processus peut couvrir les responsabilités de multiples métiers.

2.2.5 L'activité

L'activité est une séquence d'opérations, réalisées par un acteur ou un ensemble d'acteurs. Elle mobilise un certain nombre de ressources non matérielles et matérielles pour fournir, une sortie précise qu'elle soit matérielle ou immatérielle à un ou plusieurs clients identifiables, internes ou externes. L'activité est l'élément constitutif du processus. Un processus est donc constitué d'au moins deux activités séquencées.

2.2.6 Le livrable

La réalisation d'une activité par un acteur ou un ensemble d'acteurs génère quatre éléments. Le premier est le livrable. C'est la sortie matérielle de l'activité. Derrière cette notion, nous considérons bien sûr les éléments physiques, mais aussi les éléments plus intangibles comme des données ou des résultats bruts. Cet élément est spécifique à l'activité dont il provient. Il est donc difficilement réutilisable en l'état dans un contexte différent de celui de l'activité de départ.

2.2.7 La connaissance

Comme dans le modèle RIOCK, la connaissance est l'information contextualisée et utilisée par l'acteur métier pour accomplir ses actions au sein de l'organisation. La connaissance peut donc être individuelle ou collective, mais aussi tacite ou explicite (Baumard 1996). Nous considérons ici la connaissance comme un ensemble d'informations agrégées, mises en contexte et véhiculant un sens précis. De par son caractère générique et distribué, la connaissance est un élément qui peut être facilement réutilisé pour contribuer à la réalisation d'autres activités.

2.2.8 Le schéma d'action, le mode opératoire

Le schéma d'action (ou mode opératoire) est la deuxième sortie intangible de l'activité. Il correspond à la combinaison de l'ensemble des éléments que les acteurs mobilisent pour réaliser l'activité (Bonjour et al. 2002). Pour partager et mutualiser et réutiliser ces expériences, les acteurs peuvent formaliser un schéma d'action communément

accepté et mis en œuvre au travers de procédures ou modes opératoires formels. Par exemple on peut formaliser un mode opératoire par un protocole de réalisation de tests, ou une procédure de réalisation de contrôles.

2.2.9 La compétence

La compétence est le dernier élément généré à travers la réalisation d'une activité. Elle représente la capacité d'une personne à réaliser une activité de façon autonome dans un contexte donné. De par sa nature, la compétence est mobilisable et réutilisable sur différentes activités. De plus elle est évolutive et peut donc être mise en pratique sur plusieurs contextes d'utilisation. Plus la compétence d'un acteur est reconnue sur plusieurs contextes différents, plus la performance de la compétence de cet acteur est importante.

2.2.10 Le rôle

Ces trois derniers éléments (la connaissance, le schéma d'action, la compétence) sont des éléments constitutifs du rôle. Le rôle est la représentation de la position fonctionnelle d'un acteur au sein d'une organisation. Plusieurs rôles peuvent être définis par une même organisation, mais la définition d'un même rôle peut aussi être partagée entre plusieurs organisations. De ce fait, un acteur appartenant à une organisation endosse un rôle, mais il peut aussi avoir plusieurs autres rôles à jouer en même temps. Réciproquement, un même rôle peut être endossé par plusieurs acteurs. Par exemple un rôle d'ingénieur procédé est assumé par plusieurs acteurs et partagé entre plusieurs organisations.

Un rôle est défini par un ensemble d'attributs. Comme vu précédemment, la connaissance, le schéma d'action et la compétence en sont les trois premiers. À ceux-ci, il faut rajouter la responsabilité et le domaine d'interaction pour définir complètement un rôle dans une organisation. Ainsi, en fonction des organisations, certains des attributs constitutifs du rôle peuvent varier. Par exemple un ingénieur procédé de l'organisation A va mobiliser des connaissances en chimie alors que ce même rôle dans une organisation B va mobiliser des connaissances en mécanique. De ce fait, on peut supposer qu'en apportant le bon niveau de connaissance, ces acteurs peuvent intervertir leurs positions dans l'organisation tout en gardant un rôle d'ingénieur procédé.

2.2.11 Le domaine d'interaction

Le domaine d'interaction englobe toutes les actions et situations qui peuvent conduire un acteur, à travers le rôle qu'il occupe, à interagir avec d'autres acteurs ayant le même rôle ou des rôles différents. Cet élément permet donc de consigner toutes les interfaces que possède un rôle dans l'exercice de ses fonctions.

2.2.12 La responsabilité

Finalement, la responsabilité, dernier élément constitutif du rôle, définit l'ensemble des règles organisationnelles, quelles soient tacites ou explicites, qui définissent comment se déroulent les interactions entre les rôles à travers la réalisation des différentes activités. Par cela, nous entendons quelles hiérarchies se dessinent entre les différents rôles acteurs d'une activité. Pour cela, nous nous référons au formalisme proposé par la méthode « Responsibility alignment matrix methodology » (Clet et al. 2013), aussi appelée RACI, auquel nous ajoutons un niveau, pour avoir une définition commune et partagée des niveaux de responsabilité

attendus :

- Responsable : Personne responsable du bon déroulement de l'activité et des livrables associés.
- Acteur : Personne en charge de la réalisation de l'activité.
- Support : Personne qui fournit des ressources spécifiques ou jouer un rôle de support dans la réalisation de l'activité
- consultée : Personne qui procure des informations ou des ressources nécessaires à la bonne réalisation de l'activité.
- Informé : Personne qui doit être notifié des résultats de l'activité, mais qui ne prend pas part à celle-ci.

La figure 1.3 présente le méta modèle KROM avec ses concepts et leurs liens. Nous avons déterminé trois parties dans ce métamodèle ; la partie expertise liée au rôle, la partie organisationnelle et la partie gestion des connaissances. Nous détaillons ces points de vue dans la section suivante.

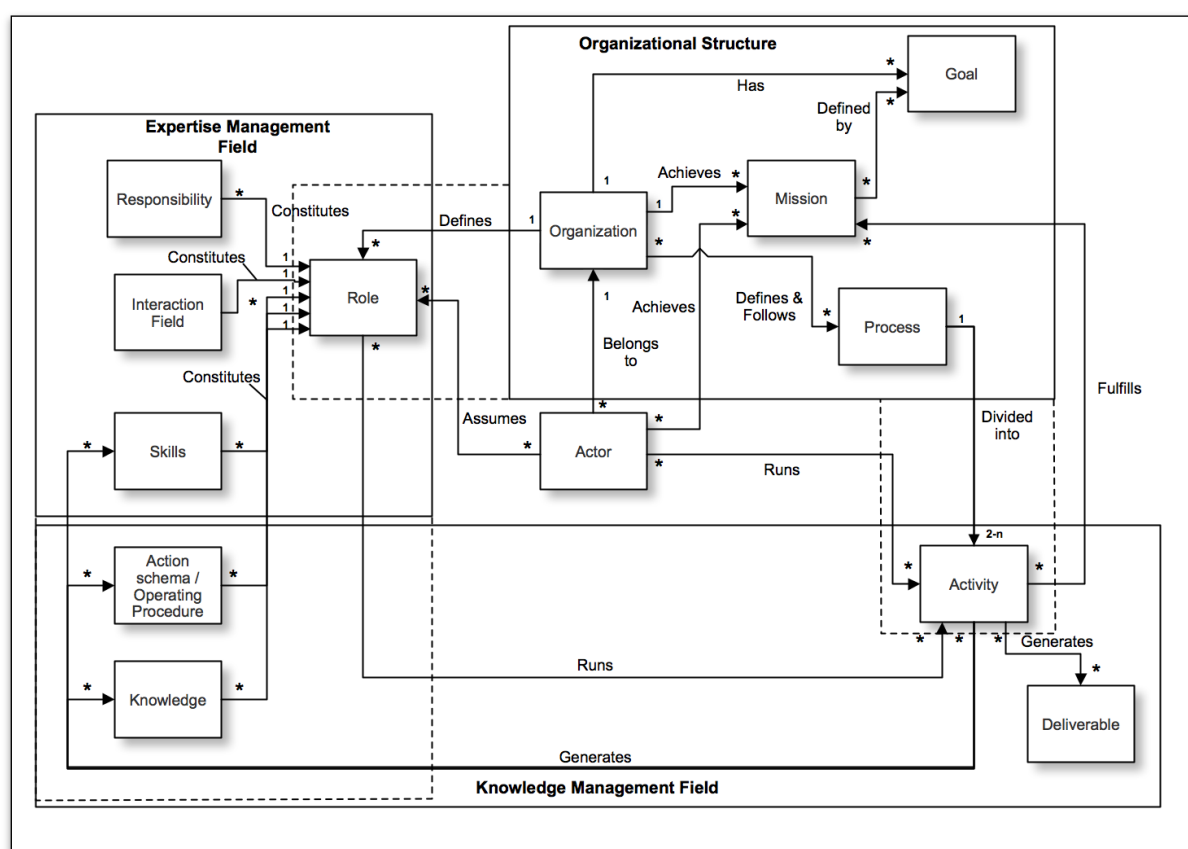


Fig. 1.3 : Les concepts du méta modèle KROM

2.3 Modélisation d'une organisation industrielle avec KROM

Comme nous l'avons présenté dans la section précédente, KROM est un méta modèle qui permet de modéliser des organisations industrielles complexes. Afin de guider l'ingénieur des connaissances à utiliser ce modèle, nous proposons d'aborder la modélisation à partir de trois points de vue de modélisation :

- Le point de vue « structure organisationnelle ». Il regroupe les éléments qui définissent l'organisation. On retrouve les concepts d'organisation, de mission, d'objectif, de rôle, de processus et par extension d'activité. Ce dernier item permet de faire le lien avec le deuxième domaine de notre modèle KROM.
- Le point de vue « gestion des connaissances ». Ce domaine regroupe les éléments qui contribuent à la mise en place d'actions de gestion des connaissances. On retrouve donc les concepts d'activité, de livrable, de connaissance et de schéma d'action. C'est deux derniers items, étant des constituants du concept de rôle, ils appartiennent aussi au dernier domaine du modèle.
- Le point de vue « gestion des compétences ». Ce domaine regroupe les éléments constituant les rôles. En effet, c'est à partir du rôle que des actions de gestion des compétences peuvent être mises en œuvre. On retrouve donc les concepts de connaissance, de schéma d'action, de compétence, de domaine d'interaction, de responsabilité et de rôle. Ce dernier concept, étant aussi présent dans le domaine « structure organisationnelle »

La figure 1.3 ci-dessous présente graphiquement les trois points de vue de modélisation ainsi que les différents formalismes de modélisation. Nous détaillons dans la suite de cette section ces formalismes pour chaque point de vue.

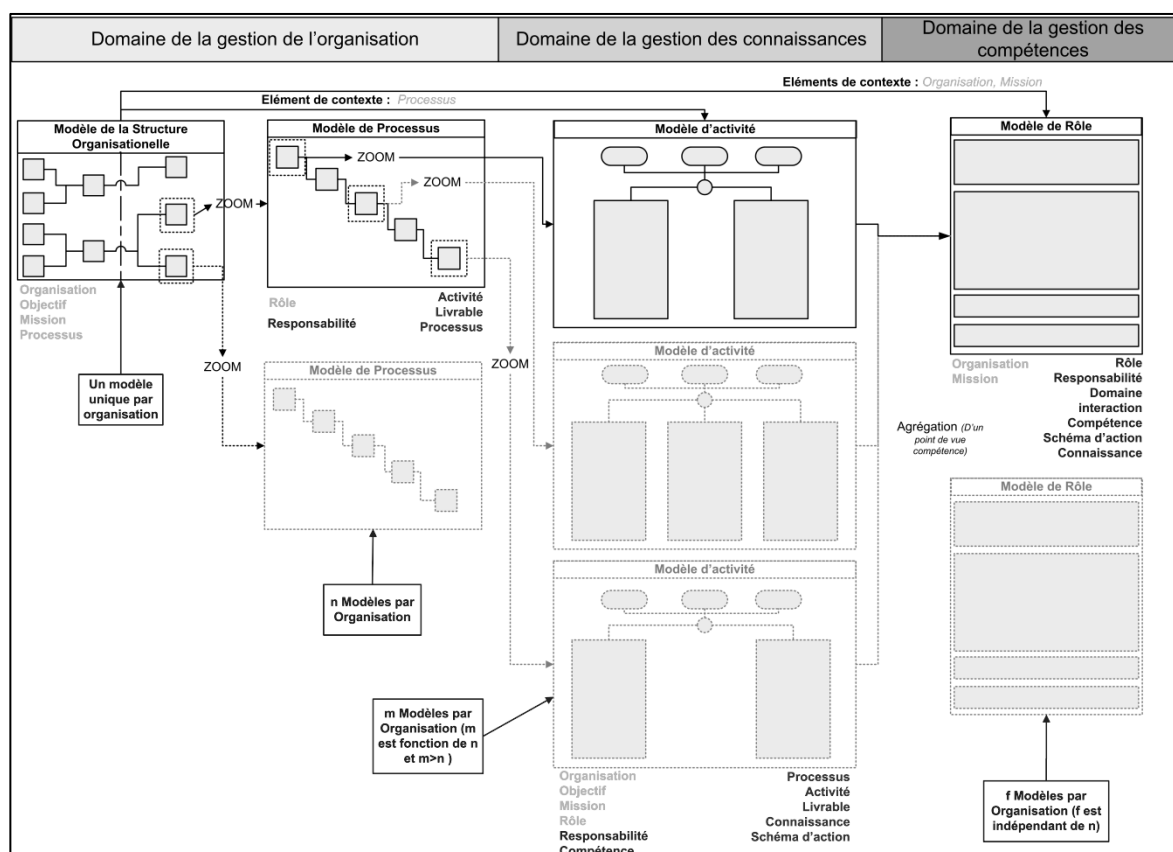


Figure 1.4 : Les points de vue et formalismes de modélisation associés à KROM

2.3.1 Le point de vue organisationnel

Le point de vue organisationnel de KROM comprend deux modèles (figure 1.4) :

- Le modèle « structure organisationnelle », basé sur les concepts d'organisation, de mission, d'objectif et de processus.
- Le modèle « processus », permet d'identifier les processus mis en œuvre par l'organisation et de leur donner un contexte, en les liants à des missions précises.

Le modèle « structure organisationnelle » utilise un formalisme simple, composé des concepts d'« objectif », de « mission » et de « Processus ». Ce modèle présente les différents objectifs d'une organisation. Dans le cas de la figure 1.5, l'organisation « département des projets industriels », modélisée lors d'une étude en collaboration avec un de nos partenaires industriels, possède trois objectifs majeurs qui sont d'augmenter les performances industrielles, proposer de nouvelles technologies ou produits et valoriser les développements réalisés. Chaque objectif est décomposé en une ou plusieurs missions. L'objectif concernant l'augmentation des performances industrielles nécessite deux missions ; d'assurer la continuité du porte-feuille dédié à la gestion de projet et de s'assurer de la qualité des projets en cours. Pour chaque mission des processus métier sont identifiés. Par exemple, la mission dédiée à s'assurer de la qualité des projets en cours est rattachée à quatre processus métier dont le processus de pilotage des projets.

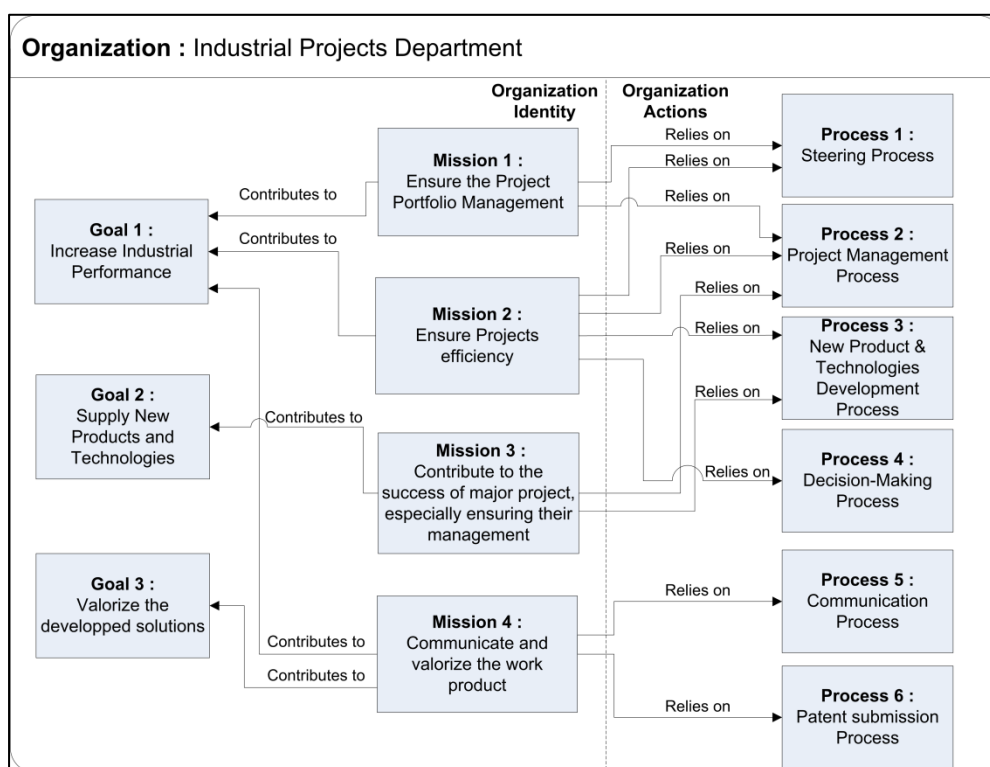


Figure 1.5 : Exemple de modèle « structure organisationnelle » pour l'organisation « département des projets industriels ».

Le second modèle du point de vue organisationnel est le modèle de processus présenté à l'aide d'actigrammes SADT (Structural Design and Model Design) (Ang et al. 1997). La figure 1.6 détaille le modèle de processus « pilotage de projet » correspondant au processus identifié dans le modèle de structure organisationnel précédent. Ce processus est composé de six activités et fait intervenir cinq rôles. Le modèle de processus facilite l'identification des

flux d'informations nécessaires à chaque activité. Dans le processus de pilotage de projet, les rôles ont besoins d'une série d'informations telles que les besoins clients, les directives stratégiques, les coûts estimés, etc. pour réaliser les activités et donc atteindre les objectifs globaux de l'organisation principale sous-jacente qui est, dans notre exemple, « le département des projets industriels ».

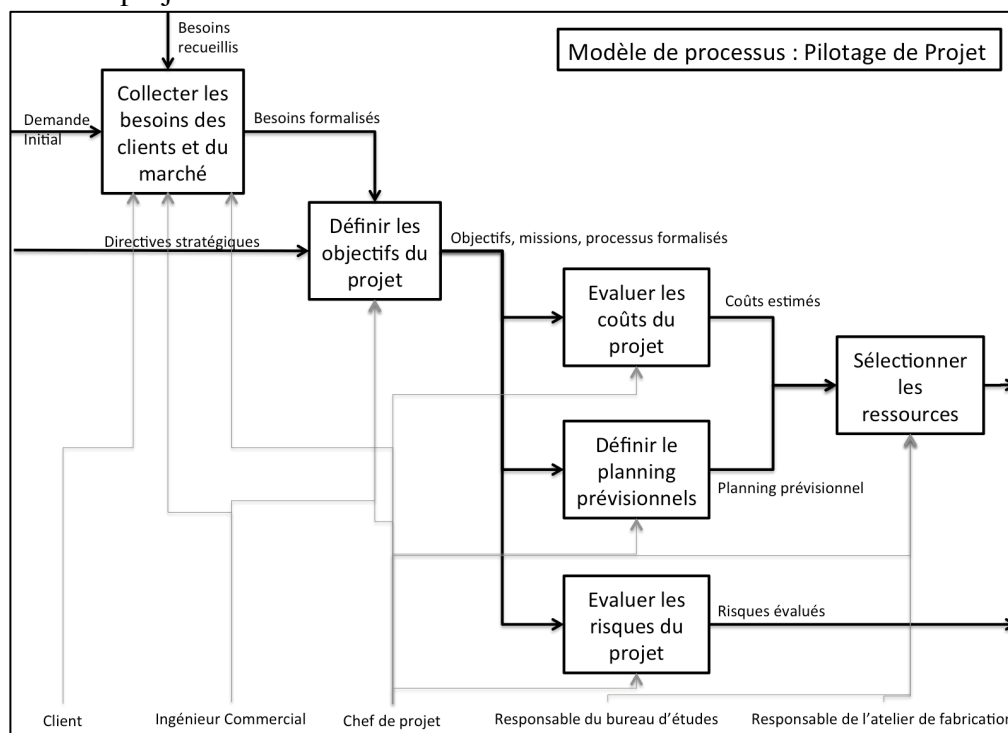


Figure 1.6 : Exemple de modèle de processus pour le processus « Pilotage de projet ».

2.3.2 Le point de vue management des connaissances

Le point de vue management des connaissances utilise un modèle appelé « modèle d'activité » qui décrit toutes les activités précédemment identifiées dans les modèles de processus. Le « modèle d'activité » formalise l'hypothèse que la réalisation d'une activité génère des livrables et des connaissances, mobilise des compétences et peut amener à faire évoluer les schémas d'action en place pour la réalisation de cette activité. Tous ces éléments sont le résultat d'interactions entre les différents rôles et donc les acteurs impliqués par cette activité.

Ce « modèle d'activité » se base sur l'évolution de notre formalisme RIOCK (Role, Interaction, Organization, Competence, and Knowledge) figure 1.2 que nous avons proposé précédemment dans l'article (Ben Milled et al. 2009, Monticolo et al. 2008). L'objectif principal de ce « modèle d'activité » est de mettre en lumière les interactions entre les rôles pour chaque activité et d'identifier les éléments utilisés, générés et partagés à travers sa réalisation.

Ce modèle peut amener rapidement à un grand nombre d'instanciations. C'est pourquoi dans la majorité des approches de modélisation d'entreprise, ce niveau de détail n'est que partiellement abordé. Cependant, pour arriver à identifier les mécanismes de création, de partage et de réutilisation de connaissances ainsi que de mise en œuvre et d'acquisition de compétences, ce modèle constitue la première pierre angulaire de la modélisation. En effet, il permet d'explicitier le fait que les connaissances et les compétences

sont liées à des situations (activités) professionnelles précises mettant en interactions différents rôles donc différents acteurs. De plus le maillage de l'ensemble des modèles d'activité permet d'obtenir une cartographie complète des compétences et des connaissances nécessaires à l'organisation. Ceci permet d'encrer les concepts de connaissance et de compétence dans la structure organisationnelle d'une part (par le biais de l'activité et du processus), mais aussi d'en montrer les impacts d'un point de vue plus orienté management des compétences (à travers le rôle notamment). Concernant la représentation graphique du modèle, les propriétés des symboles graphiques utilisés sont résumées dans le tableau suivant :

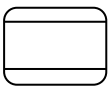
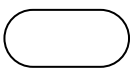
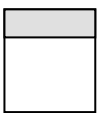



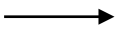
Élément	Caractéristiques
	L'activité est représentée par un rectangle de trois niveaux. Le niveau supérieur présente le nom de l'activité, la partie médiane décrit les rôles impliqués et la partie inférieure présente le(s) processus lié.
	Les éléments générés par l'activité, à savoir les livrables, les connaissances, les compétences, et les schémas d'action qui évoluent sont notés sur le haut du cartouche par ce symbole.
	Chaque rôle intervenant dans la réalisation de l'activité est identifié. Chacun d'entre eux est défini par ses compétences et connaissances mises en œuvre, par ses schémas d'action mobilisés et par sa/ses responsabilités dans la réalisation de l'activité.
	L'alliance : Cette interaction représente un ensemble rôles partageant les mêmes objectifs. Les acteurs vont coopérer pour accomplir les objectifs de l'organisation. Ils vont mettre de côté leurs propres objectifs. L'organisation perdurera tant que les acteurs n'ont pas satisfait ses objectifs. Ce formalisme d'interaction est emprunté au formalisme RIOCK et au paradigme Agent.
	La coalition : Les rôles partagent des informations pour pouvoir accomplir leurs tâches. Ils gardent ainsi leurs propres objectifs et possèdent des objectifs différents. Cependant ils ont au moins un objectif commun avec l'organisation. Un rôle peut sortir de la coalition si ses propres objectifs sont atteints. L'organisation perdure tant qu'il y a plusieurs rôles en interaction et que les objectifs de l'organisation ne sont pas atteints. Ce formalisme d'interaction est emprunté au formalisme RIOCK et au paradigme Agent.
	Le leadership : Cette interaction exprime le fait qu'un rôle pilote l'organisation et distribue les tâches aux autres rôles pour accomplir les objectifs de l'organisation. Chaque rôle de l'organisation partage au moins un objectif commun avec l'organisation. Le leader possède le plus d'objectifs dans l'organisation. Ce formalisme d'interaction est emprunté au formalisme RIOCK et au paradigme Agent.
	Les connecteurs indiquent le sens de lecture. Ils vont des rôles vers les éléments de sortie de l'activité en passant par l'interaction.

Tableau 1.1 : Symboles graphiques et leurs significations pour le modèle d'activité.

2.3.3 Le point de vue « gestion des compétences ».

La succession des « modèles d'activités » réalisés précédemment permet d'obtenir un maillage des rôles mobilisés à travers l'organisation. Le point de vue « gestion des compétences » utilise le « modèle de rôle » dont l'objectif est de pouvoir agréger l'ensemble

des informations concernant un rôle donné ainsi que de spécifier les compétences et les connaissances dont il a besoin. Contrairement aux modèles précédents qui s'enchainent grâce à des zooms successifs, ce modèle rassemble un ensemble d'informations distribuées à travers les modèles précédents et les consolide en les mettant en perspectives des compétences mises en œuvre par le rôle. Cette agrégation d'attributs permet de définir de façon globale chaque rôle et son implication dans l'organisation. Un rôle est donc défini par l'organisation auquel il appartient, les missions qu'il remplit, les compétences et les connaissances qu'il mobilise, son domaine d'interaction et ses responsabilités.

De plus, la formalisation du modèle de rôle répond à un second objectif qui est de permettre de faire le lien avec des approches de modélisation dites kénétiques. En effet, les approches kénétiques, à travers le paradigme agent. Cette modélisation ouvre de nouvelles possibilités en termes de représentation des mécanismes de partage et de réutilisation des connaissances. À travers des organisations virtuelles, des systèmes à base de connaissances peuvent venir supporter les activités des acteurs humains. Afin de préparer au mieux l'interfaçage entre une organisation humaine et une organisation virtuelle, le modèle de rôle de cette modélisation propose de prendre en compte ces deux types d'organisations dans son domaine d'interaction. Ainsi le domaine d'interaction est partagé en trois grandes catégories : les Agents (les rôles des acteurs des organisations virtuelles), les Humains (les rôles des acteurs des organisations humaines) et les Interfaces (les différentes interfaces logicielles qui vont permettre aux deux organisations de s'interfacer pour communiquer).

La figure 1.7 présente le modèle de rôle et un exemple de modélisation du rôle « chef de projet industriel » où sont spécifié l'organisation principale dans laquelle le chef de projet évolue (ici la direction des projets industriels), les principales missions de ce rôle (définir les enjeux, les coûts, etc.), les connaissances nécessaires au chef de projet (méthode et outil de gestion de projet, analyse économique, etc.), les compétences nécessaires pour ce rôle, les domaines d'interactions avec les humains, les agents ou des interfaces qui assurent la passerelle entre les humains et les agents.

Role Name		Rôle	Chef de Projet Industriel			
Organization	Organization Name	Organisation	Direction des Projets Industriels			
Main Missions	<ul style="list-style-type: none"> - Mission 1 : - Mission 2 : - Mission 3 : 	Principales Missions	<ol style="list-style-type: none"> 1. Définir les enjeux, les coûts et complexité du projet. 2. Valider et s'engager sur l'objectif du projet les différentes parties prenantes : ressources, budget, délai, périmètre. 3. Conduire le déroulement du projet. 4. Manager l'équipe projet, conduire le travail des différents intervenants et fédérer l'équipe. 5. Communiquer et contribuer à la valorisation des livrables des projets 			
Competences	C1 : Competence Name C2 : Competence Name C3 : Competence Name C4 : Competence Name		Domaine	Niv	Domaine	Niv
Knowledge	K1 : Knowledge Name K2 : Knowledge Name K3 : Knowledge Name K4 : Knowledge Name K5 : Knowledge Name		Méthodes et outils de Gestion de Projet	4	Propriété Intellectuelle et Juridique	2
			Méthodes et outils d'ingénierie	2	Conduite du Changement	3
			Analyses Economiques	3	Reporting et Communication	3
			Bagage Technique	2	Négociation	3
Interaction Fields	Agents : Agent A / Agent B / Agent D Humans : Role 1 / Role 2 / Role 3 Interfaces : Portal Alpha	Compétences Comportementales	Orienté Résultats Décisions de Qualité Orientation Clients Courage Managérial			
		Domaines d'interaction	Départements de l'ingénierie R&D Equipes IT Partenaires			
Responsibilities	(P1; Act 1) : R (P1; Act 4) : R+A (P2; Act 1,2,3,4,5,9) : R (P2; Act 7,8) : I	Responsabilités	Management et réussite de ses projets Management et réussite du processus de prise de décisions de ses projets Valorisation des différents livrables de ses projets			

Figure 1.7 : Modèle de rôle et exemple de modélisation du rôle « Chef de projet industriel ».

2.4 Synthèse et analyse (modélisation organisationnelle)

Ma contribution au niveau du domaine du génie industriel et de la modélisation organisationnelle est de proposer un méta modèle applicable facilement en entreprise. Ainsi les concepts de KROM sont clairement définis et sont compréhensibles par les équipes projet. De plus KROM s'accompagne d'une méthodologie basée sur les quatre points de vue (structure organisationnelle, processus, activité et rôle) qui sont utilisables avec des formalismes simples facilitant ainsi la création et la validation des modèles par les acteurs métier.

L'approche KROM apporte également une vision originale pour la modélisation basée sur les agents. Le concept d'acteur peut convenir à modéliser un agent en mettant en évidence ses rôles dans une organisation, les connaissances c'est-à-dire les informations contextualisées dont il a besoin et ces plans d'action à travers le concept de « schéma opératoire ». Dans le domaine des systèmes multi agents, les modèles organisationnels, cités dans la section 1, sont construits sous forme d'une structure en quatre niveaux (Coutinho et al. 2009). Une structure organisationnelle décrivant les propriétés d'une organisation d'agents qui sont invariantes en fonction du temps. Un deuxième niveau décrivant les fonctions organisationnelles de l'agent c'est-à-dire les objectifs globaux et individuels. Un troisième niveau décrivant les interactions et permettant de faire le lien entre le niveau structurel et le niveau fonctionnel. Un dernier niveau dédié à décrire les normes c'est-à-dire à définir les règles permettant de relier les trois niveaux précédemment cités. Dans KROM, la modélisation d'une structure organisationnelle avec les processus mise en œuvre par les agents, une structure fonctionnelle à l'aide des concepts « objectif », « mission » et « activité », et les interactions organisationnelles entre les agents à l'aide du modèle d'activités. Notre méta modèle n'aborde pas la notion de normes. Nous considérons que les règles de passage entre les différents niveaux (structure organisationnelle, fonctionnelle et interaction) sont décrites lors de la modélisation et la décomposition d'une organisation à partir de nos différents points de vue. Ces points de vue ont pour objectif de construire le modèle de structure organisationnelle qui permet de déduire le modèle de processus puis d'activité et enfin de construire le modèle de rôle. Nous détaillerons dans la section quatre de ce chapitre notre approche de conception d'un système multi-agent à partir du méta modèle organisationnel KROM.

Au niveau du domaine de la gestion des connaissances, KROM ne se limite par une représentation des connaissances au niveau de l'activité, mais met en corrélation le concept de compétence au sein d'une structure organisationnelle complexe. Ce positionnement facilite l'annotation de contexte pour les connaissances créées. L'expérience métier est décrite à travers un schéma d'action contrairement à d'autres approches plus complètes qui sont centrées sur le retour d'expérience (Bonjour et al. 2014, Jabrouni et al. 2011, Kamsu-Foguem et al. 2008). De plus, l'ensemble des concepts de KROM permet de modéliser les échanges d'informations à travers les interactions entre les acteurs et à travers les différents points de vue. La compréhension de ces mécanismes d'échanges et d'interactions est primordiale pour concevoir un système de gestion des connaissances. Nous détaillons dans la section suivante comment créer une ontologie à partir du méta modèle organisationnel KROM.

Les publications et communications suivantes (Cf. Partie 1, section 9) sont accessibles pour plus de détails sur ces travaux de recherche : (Monticolo et al. 2015 - R13), (Badin et al., 2011 – R8), (Demoly et al. 2010 – R7), (Girondon et al. 2012 – C27), (Badin et al. 2011 – C20).

3. De la modélisation organisationnelle à la base de connaissances

La modélisation organisationnelle facilite la compréhension des mécanismes de création, de partage et d'échange de connaissances au sein des organisations humaines. Les systèmes à bases de connaissances sont souvent construits sur la base de mémoires organisationnelles intégrant des connaissances informelles, semi-formelles ou formelles afin de faciliter leur représentation et exploitation. Les connaissances doivent être modélisées, organisées et reliées les unes aux autres pour constituer une base de connaissances.

Une base de connaissances est construite à partir des données utilisées ou créées par les acteurs métier. Ces données sont ensuite enrichies en leur donnant le contexte dans lequel elles ont été créées. Ces données contextualisées deviennent ainsi des informations. D'après Schneider dans (Schneider 2009), lorsque ces informations sont validées par les acteurs métier, elles deviennent des connaissances. Nous considérons que la validation d'une information entraîne son appropriation par l'acteur métier. La base de connaissances est donc constituée de ces informations validées et de la définition des liens entre ces connaissances afin de pouvoir les exploiter. Les ontologies facilitent la structuration en fournissant une conceptualisation formelle d'un domaine partagé par un groupe d'acteurs métier dans une organisation (Gruber et al. 2008). En effet Bachimont (Bachimont 2001) explique qu'une ontologie fournit un champ conceptuel pour représenter des connaissances explicites et également un cadre partagé pour les acteurs métiers pour échanger leurs connaissances tout en procurant une représentation de la signification des différents contenus échangés dans les systèmes d'information de l'organisation. Uschold and Gruninger dans (Uschold et al. 1996) expliquent que le degré de formalisation avec lequel une ontologie est spécifiée varie d'informel (c'est-à-dire de définition issue du langage naturel) à formel avec l'utilisation de langage tel que la logique du 1^{er} ordre basée sur une syntaxe rigoureuse. Le degré de formalisation dépend de l'objectif de l'ontologie, si l'ontologie doit être utilisée par un système à base de connaissances, la sémantique utilisée dans l'ontologie doit être précise. Par contre si l'ontologie est un outil de communication entre les personnes alors celle-ci peut être informelle à condition qu'elle puisse capturer les intuitions de chaque acteur métier.

Dans la suite de cette section nous présentons notre approche de conceptualisation et de construction de la base de connaissances sous forme d'ontologie à partir du modèle organisationnel KROM. Nous proposons une formalisation de type semi-formel afin que les acteurs métier puissent communiquer et valider les concepts de l'ontologie et que ces concepts et leurs relations soient suffisamment bien définis pour qu'ils puissent être utilisés par un système intelligent.

3.1 Les approches de construction d'ontologies

Les approches de développement d'ontologies sont nombreuses dans la littérature. Elles abordent les principes de processus de construction d'ontologie, de méthodes de spécification, d'évaluation et de déploiement d'ontologies. Plusieurs études sur les méthodes d'ingénierie ontologiques ont été publiées (Cordcho et al., 2002), (Gandon 2002), (Staab et al., 2004), (Zouaq et al. 2010), et plus récemment (Iqbal et al., 2013), (Simperl et al., 2014) et (Jamshaid et al. 2015). De ces études nous observons plusieurs catégories d'approches :

- Les approches de développement d'ontologies basées sur les modèles (Gasevic et al., 2009), (Djuric et al. 2005), (Chungoora et al., 2013) avec l'utilisation des travaux du domaine de l'ingénierie des modèles (MDA/MDE – Modèle Driven Architecture/ Model

Driven Engineering) ;

- Les approches de développement d'ontologie basée sur la réutilisation (Fernandez-Lopez et al. 2013), (Simperl E. 2009), la fusion d'ontologies (Little et al. 2009) ou le « matching » d'ontologie (Otero-Cerdeira et al. 2015)
- Les approches se basant sur les processus et pratiques du génie logiciel (De Nicola et al., 2009) et utilisant le langage de modélisation UML (Parreiras et al. 2010).

Les méthodologies de développement d'ontologies dépendent de la manière dont on veut modéliser le domaine de connaissances. Le processus de développement est nécessairement itératif et comprend des phases de spécifications, conceptualisations et de mise à jour. À partir de l'analyse de l'ensemble des méthodologies de développement d'ontologies, nous en avons déduit un processus de construction en sept étapes :

- Étape 1 : Définir le domaine de l'ontologie. Cette étape permet d'apporter une vision claire des concepts choisis pour l'ontologie, de ses cas d'utilisation et des mises à jour.
- Étape 2 : Réutiliser les ontologies existantes. Le développement d'une ontologie étant un travail fastidieux, il est important de considérer la réutilisation de concepts et de relations déjà développés dans d'autres ontologies. Cette étape nécessite de cibler des ontologies ayant des domaines connexes.
- Étape 3 : Énumérer les termes qui peupleront l'ontologie. Cette étape est souvent appelée « définition de la terminologie ».
- Étape 4 : Définir les concepts (ou classes) et leurs hiérarchies. Cette activité peut être abordé en définissant, en premier, les concepts de haut niveau dits concepts généraux (« entité », « chose », etc...) ou en définissant les concepts spécifiques en premier. Noy (Noy et al. 2001) propose d'utiliser les deux approches simultanément.
- Étape 5 : Définir les propriétés des concepts. Cette étape consiste à spécifier la structure interne de l'ontologie en explicitant ses propriétés telles que le nom, le poids, la couleur, etc. Dans cette étape, les types de valeurs (entier, chaîne de caractère, etc.) des concepts sont également spécifiés.
- Étape 6 : Caractériser les relations entre les classes. Ici, nous spécifions les relations avec les autres classes en les nommant, en définissant leurs portées (Domain/Range) et leur cardinalité.
- Étape 7 : Créer les instances de l'ontologie. Cette phase consiste à insérer des valeurs aux concepts de l'ontologie.

Comme il est décrit dans ce processus, les méthodologies de développement d'ontologies intègrent une étape de réutilisation d'ontologies existantes. Cependant l'évolution des langages de développement d'ontologie (présentés dans le chapitre 2 de ce document), complexifie la tâche de réutilisation de concepts et de relations. En effet une ontologie implémentée dans un langage basé sur un paradigme de représentation de connaissances différent ou utilisant des règles de définition de relations différentes rend la tâche de

réutilisation impossible. Pour résoudre ce problème, certaines approches telles que METHONTOLOGY (Gomez-Perez et al. 1999), OntoCAPE (Morbach et al. 2009) ou Neon (Suárez-Figueroa 2010) intègrent des méthodes de « réingénierie » qui consistent à réutiliser uniquement des concepts communs et reconstruire ou adapter les liens entre ces concepts.

Par ailleurs, les ontologies ont pour objectif de capturer des connaissances validées par les acteurs métier pour un domaine spécifique afin d'être utilisées et partagées par des applications informatiques au service des personnes de l'entreprise. À partir de ce postulat, il est possible de concevoir plusieurs ontologies pour un domaine spécifique comprenant des vues différentes en fonction des intentions et des besoins des acteurs métier. De ce fait, nous retrouvons dans la littérature plusieurs ontologies pour modéliser le domaine de l'entreprise telles que ARIS (Scheer 1998), TOVE (Gruninger et al., 2000), Enterprise Ontology (Uschold et al., 1998), O'CoMMA (Corby et al. 2006), OntoDesign (Monticolo et al. 2007), et plus récemment Enterprise Architecture Ontology (Kang et al., 2010) et ArchiMate (Azevedo et al. 2015). On peut distinguer deux approches pour réutiliser et unifier les terminologies de deux ontologies : l'alignement d'ontologie ou la fusion. Les méthodes d'alignement d'ontologies (Safar et al., 2009), (Euzenat 2013) proposent de construire des liens entre les différentes ontologies tout en préservant le sens original de chaque ontologie. Par ailleurs les méthodes de fusion d'ontologies (OAEI 2013), (Khan et al. 2014) proposent de générer une nouvelle ontologie à partir de plusieurs ontologies existantes. L'approche que nous avons adoptée, présentée dans la section suivante, utilise les méthodes d'alignement d'ontologies.

3.2 Notre approche de construction d'ontologies

Afin de concevoir un système intelligent dédié à la gestion des connaissances utilisant une ontologie pour structurer, organiser et exploiter les connaissances, nous proposons une approche de développement d'ontologie basé sur la modélisation organisationnelle KROM. Le développement de l'ontologie est composé de 4 étapes (figure 1.8) :

- *La conceptualisation.* Cette étape utilise les résultats de la modélisation KROM avec ses 4 modèles ; le modèle de structure organisationnelle, le modèle de processus, le modèle d'activité et le modèle de rôle. Lors de cette étape les acteurs métier choisissent les connaissances à capitaliser à partir de celles identifiées dans les modèles KROM. Les modèles fournissent ainsi un ensemble de concepts qui peupleront l'ontologie. La seconde partie de cette étape consiste à étudier les ontologies proches de notre domaine de modélisation qui pourraient être en partie réutilisées.
- *La spécification.* Lors de cette étape les acteurs métier construisent une classification à partir des concepts sélectionnés lors de la conceptualisation. La classification et la description des concepts aboutie à la création d'un thésaurus c'est à dire à une collection de termes. Le thésaurus est également enrichi à partir de concepts issus d'autres ontologies.
- *L'implémentation.* Durant cette phase, les concepts sont clairement explicités en décrivant leur signification en langage naturel ainsi que leurs propriétés. De plus, les relations entre ces concepts sont caractérisées. Les relations permettront la réutilisation des connaissances en exploitant les liens entre elles. Lorsque les relations et les concepts sont décrits, l'ontologie peut être implémentée à l'aide d'un langage spécifique tel que OWL, proposé dans le cadre du Web Sémantique. Nous décrivons ce langage dans le chapitre 2.

- *La formalisation.* Cette étape consiste à construire une ou des instances de l'ontologie c'est-à-dire à donner des valeurs aux concepts de l'ontologie. Durant cette étape les règles d'exploitation de l'ontologie sont spécifiées. Ces règles permettent de rechercher les instances des connaissances en fonction de la sémantique utilisée pour caractériser les concepts et leurs relations.

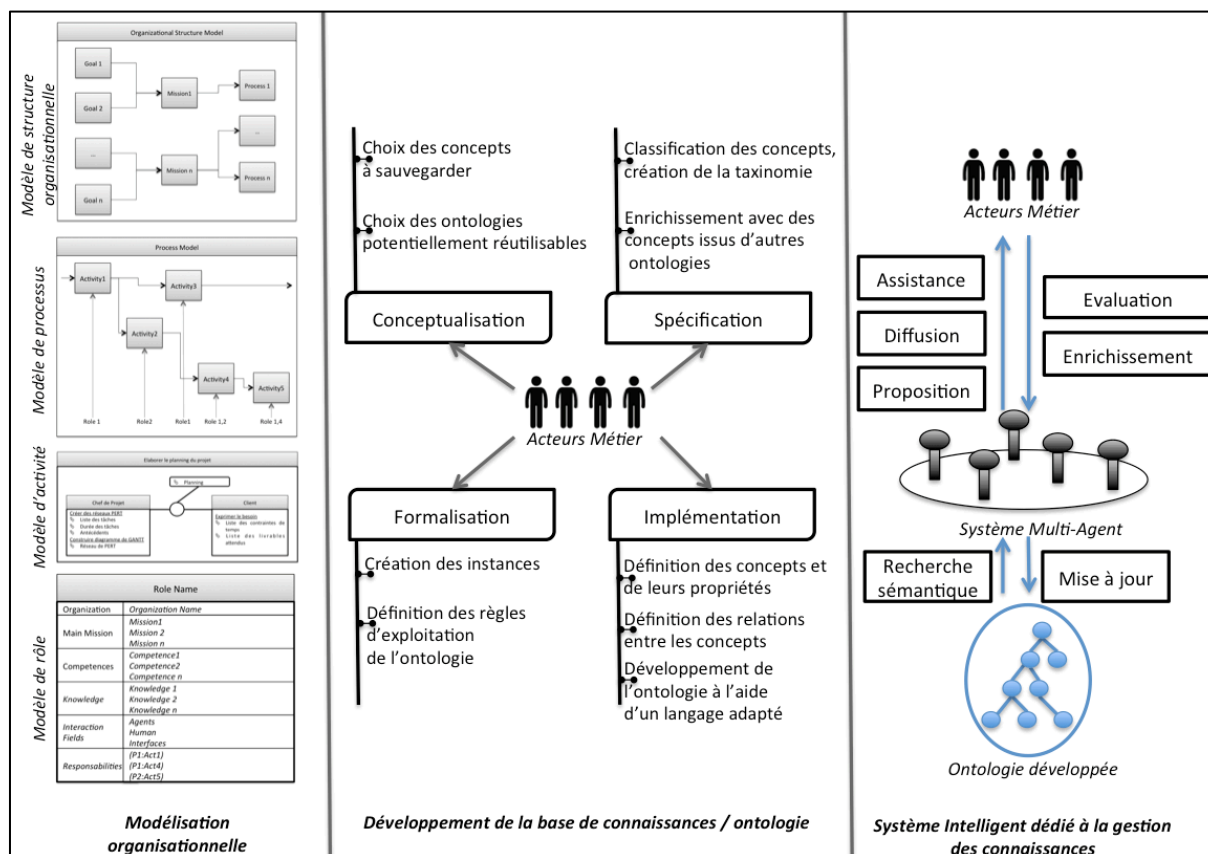


Figure 1.8 : Approche de développement de l'ontologie pour le système intelligent

Nous avons déployé notre approche lors du développement de l'ontologie OntoKROM qui est une ontologie construite à partir de la modélisation des connaissances basée sur le méta modèle KROM. L'ontologie a été expérimentée dans l'entreprise dans l'entreprise Essilor dans le cadre d'une convention CIFRE. OntoKROM est destinée à structurer les connaissances lors de projets industriels ou au sein de services de l'entreprise. Nous présentons dans la suite de cette section les différentes étapes du développement de l'ontologie.

3.2.1 La conceptualisation à partir de la modélisation KROM

Afin de déterminer les connaissances indispensables à capitaliser lors des projets industriels des entreprises SOMFY et Essilor, nous avons modélisé les organisations projets à l'aide de KROM. Les 4 modèles de KROM (structure organisationnelle, processus, activité et rôle) permettent d'identifier et capturer les types de connaissances ainsi de comprendre les mécanismes de création, partage et diffusion des connaissances entre les acteurs métier lors des activités d'ingénierie. L'objectif étant de créer une base de connaissances qui sera utilisée par un système intelligente pour assister les acteurs métier à réaliser leurs activités en réutilisant les savoirs et savoirs faire capitalisés. Nous avons construit l'ontologie à partir d'une approche « bottom-up » c'est-à-dire en déterminant en premier une liste des concepts

du domaine et en les généralisant. De plus, pour chaque concept nous avons étudié les ontologies dédiées à la modélisation des connaissances en entreprise (TOVE, ARIS, Enterprise Ontology, O'CoMMA, Enterprise Architecture Ontology et ArchiMate) afin d'agrandir la population de concepts. En vue de réutiliser ces ontologies, nous avons analysé leur version informelle à partir de leurs documentations spécifiant les classes utilisées. Il n'a pas été possible d'importer de manière automatique une liste de concepts et leurs relations, car les objectifs de modélisation entre ces ontologies et notre ontologie OntoKROM sont différents même si elles sont dédiées au même domaine d'application qui est l'entreprise. L'analyse terminologique réalisée à partir de la modélisation KROM et enrichie à l'aide des ontologies existantes a été conduite en considérant trois situations possibles :

- Un terme correspondant à un concept. Cette situation est la plus simple et permet de labéliser directement le concept retenu ;
- Un terme correspondant à plusieurs concepts. Le terme peut porter à confusion puisqu'il est utilisé dans plusieurs arcs de l'ontologie. Dans ce cas nous avons fait un effort d'expliquer le sens du terme dans sa description en langage naturel.
- Plusieurs termes correspondent à un concept. Cette situation est fréquente, particulièrement lors de la réutilisation des ontologies existantes. Les termes sont alors des synonymes, hyperonymes ou hyponymes.

À la suite de l'analyse terminologique, nous en avons déduit que les principaux avantages d'utiliser la modélisation KROM pour développer l'ontologie sont :

- La modélisation est centrée sur les aspects organisationnels des projets industriels, qui sont des caractéristiques importantes à prendre en compte dans la conception d'un système à base de connaissances ;
- La modélisation KROM apporte une vue complète du déroulement des projets tout en révélant l'ensemble des connaissances créées et utilisées ;
- La modélisation fournit une représentation graphique simple à partager avec les équipes projet ce qui facilite l'identification des concepts importants à capitaliser.

À partir des 4 modèles définis dans KROM, nous avons déduit les 4 types de connaissances associées qui représenteront les axes de l'ontologie OntoKROM :

- *Les connaissances organisationnelles.*

Ces connaissances sont spécifiques à l'organisation humaine étudiée. Le tableau 1.2, ci-dessous présente un extrait de la liste des concepts issus de KROM ainsi que l'apport de la réutilisation des ontologies existantes. Le travail de construction de l'ontologie a été réalisé en utilisant la langue anglaise afin de pouvoir réutiliser les ontologies existantes peuplées de concepts exprimés également en langue anglaise.

<i>Concepts issus de KROM</i>	<i>Concepts liés aux ontologies existantes</i>	<i>Synonymes, hyperonymes, hyponymes ajoutés</i>
Organization	Strategy, Direction, Performance, Authority, Structure, Affiliation, Federation, Fraternity, Confederation, Cooperative, Society, Family, Team, ...	Configuration, Unity, Institution, Management, System, Grouping, ...
Mission	Assignment, Project, Task, Obligation, Chore, Duty, Practice, Homework, Charge, Engaging, ...	Aim, Assignment, Profession Work, Charge, ...
Goal	Interest, Aim, Aspiration, Hope, Purpose, Desire, Ideal, Plan, Conviction, Action, Achievement, Belief, Desire, Profession, Trust, ...	Ambition, Intention, Objective, Target, Intent, ...

Tableau 1.2 : Extrait de la liste des concepts associés aux connaissances organisationnelles

- *Les connaissances liées aux processus.*

Ces connaissances permettent de décrire les enchainements d'étapes pour répondre à un objectif métier. Le processus métier crée de la valeur au sein de l'organisation. Un extrait des concepts identifiés par les acteurs métier est présenté dans le tableau 1.3.

<i>Concepts issus de KROM</i>	<i>Concepts liés aux ontologies existantes</i>	<i>Synonymes, hyperonymes, hyponymes ajoutés</i>
Industrial Process	Activity, Plan, Agility, Functioning, Operation, Business, Fabricate, Accomplish, Compose, Adjustment, Schema, Disposition ...	Action, Case, Development, System, Operation, Technique, Procedure, Practice, Mechanism...
Event	Assignment, Employment, task, Occurrence, Context, Position, Situation, State, Predicament, Incident, Crisis, ...	Act, Action, Business, Affair, Case, Development, Experience, Fact, Situation, Context, ...
Result	Value, key, Consequence, spinoff, Change, materialization, Upshot, Conclusion, Issue, Denouement, ...	Conclusion, Consequence, Decision, Development, Event, Outcome, Product, Reaction ...
Control	Conduct, Supervise, Unchanged, Expertise, Know-how, Lead, Determine, ...	Authority, Regulation, Restraint, Rule, Supervision, Oversight, ...
Professional Actors	Learner, Helper, Work force, Artisan, Operative, Stiff, Salesperson, White Collar, Sales Help, Working People, Technician, ...	Employee, Staff Member, Worker, Apprentice, Operator, Engineer, Laborer, Representative, Agent, ...
Production Means	Ressources, Wherewithal, Way and Means, Appliances, Machinery, Material, Tool, Shifts, Equipment, ...	Equipment, Factor, Instrument, Mechanisms, Power, System, Machine, ...

Tableau 1.3 : Extrait de la liste des concepts associés aux connaissances de type « processus »

- *Les connaissances liées aux activités.*

Ces connaissances permettent de présenter en détail une activité. Elles sont centrées sur les rôles des acteurs métier, leurs interactions, leurs compétences et connaissances. Le tableau 1.4 présente les concepts associés à ces connaissances.

<i>Concepts issus de KROM</i>	<i>Concepts liés aux ontologies existantes</i>	<i>Synonymes, hyperonymes, hyponymes ajoutés</i>
Role	Action, Practice, Personification, Contract, Assignment, Chore, Contract, Care, Duty, Office, Taskwork, Obligation...	Character, Act, Appearance, Performance, Player ...
Interaction	Alternation, Correspondent, Match, relationship, Complement, Interchange, ...	Communication, Synergy, Cooperation, Collaboration, ...
Competence	Aptitude, Plenty, Facility, Talent, Comprehension, Cleverness, Adequacy, Potentiality, Qualifedness, learning, ...	Ability, Skill, Know-How, Capacity, Capability, Competency, Qualification, Expertise, ...
Knowledge	Cognizance, Cognition,, Experience, Acquaintance, Insight, Theory, Thesis, Thinking, Trust, Feeling, Certainty, expertise, aptitude, ability ...	Philosophy, Intelligence, Instruction, Discernment, Wisdom, Know-How, Comprehension, Recognition, ...

Tableau 1.4 : Extrait de la liste des concepts associés aux connaissances de type « activité »

- *Les connaissances individuelles.*

Ces connaissances sont relatives à l'individu. Certains des concepts liés à l'individu ont déjà été identifiés dans le tableau précédent tels que le rôle, la compétence, la connaissance et la mission. Seul le concept « responsabilité » a été ajouté à cette étape (tableau 1.5)

<i>Concepts issus de KROM</i>	<i>Concepts liés aux ontologies existantes</i>	<i>Synonymes, hyperonymes, hyponymes ajoutés</i>
Accountability	Burden, Reverance, Accountableness, Loyalty, Charge, Task, Contract, Must, Right, Trust, Duty, Engagement, ...	Liability, Responsibility, Answerability, Blameworthiness, ...

Tableau 1.5 : Extrait de la liste des concepts associés aux connaissances individuelles

Cette première phase de conceptualisation permet de déduire la liste des connaissances nécessaires à capitaliser à partir de la modélisation des organisations humaines. Cette liste est enrichie avec des concepts provenant d'ontologies existantes ou de base lexicales. Cette phase permet également de supprimer ou d'identifier les doublons. En effet on observe rapidement l'apparition de concepts identiques pour des termes différents. Les concepts de « Task », « Charge », « Act » apparaissent souvent lors de la conceptualisation. C'est lors de la phase suivante, de spécification que sont traités les doublons.

3.2.2 La spécification de l'ontologie OntoKROM

La phase de spécification consiste à construire un thésaurus c'est-à-dire une classification et une description des concepts identifiés lors de l'étape de conceptualisation. Le thésaurus facilite la suppression des ambiguïtés entre les concepts puisqu'il décrit les différentes significations et leurs contextes d'utilisation pour chaque terme. Afin de passer de la liste des concepts (représentation semi-informelle des connaissances) au thésaurus (représentation semi-formelle) nous nous sommes inspirés de l'approche proposée par Gandon dans (Gandon 2002). L'approche consiste à dresser trois tableaux :

- *Le tableau des concepts*, regroupant chaque concept par un nom unique (classe). Dans ce tableau figure le domaine d'utilisation du concept, le concept supérieur associé (Super Classe), les synonymes identifiés, une description en langage naturel et le nom de la personne ayant décrit le concept.
- *Le tableau des relations* spécifiant les relations éventuelles entre les concepts en précisant le concept source et le concept cible, une description en langage naturel ainsi que le nom de la personne ayant défini la relation
- *Le tableau des attributs* spécifiant les propriétés d'une classe en précisant à quel concept ils appartiennent, leur type de valeur, une description en langage naturelle ainsi que le nom de la personne ayant spécifié l'attribut.

Pour chaque connaissance spécifiée, il est important d'assurer la traçabilité des modifications portées sur la base de connaissances, c'est-à-dire la mise à jour, la suppression ou l'ajout de nouveaux concepts/relation/attributs). En entreprise, nous avons observé que le domaine de connaissance évolue rapidement. Les tableaux suivants 1.6, 1.7, 1.8 présentent un extrait du thésaurus construit au sein de l'entreprise Essilor.

Class	Domain	Super Class	Natural Langage Definition	Synonymous	Provider
Organization	Enterprise	Enterprise	Group of persons organizaed for some end or work	Configuration, Unity	JG, DM
Mission	Engineering	Project	Any important task or duty that is assigned, allotted, or self-imposed	Aim, Assignment	Project Team
Event	Engineering	Project	The outcome, issue , or result of anything	Situation, Action	JG, SM, RO
Actor	Enterprise	Person	A person working for another person or a business firm for pay	Employee, Staff Member	Project Team
Role	Enterprise	Person	The rights, obligations, and expected behavior patterns associated with a particular status	Character, Act	DM, RO
Aptitude	Engineering	Person	Abiltity and aquired capacity for something	Skill, capability	SM, DM
Charge	Engineering	Project	To impute and ascribe the responsibility for	Liability, Responsibility	DM, FV
Task	Engineering	Project	A definitie piece of work assigned to, falling to, or expected of a person, duty	Activity, Job, Assignment	JG, EB
Cooperation	Entreprise	Project	An act or instance of working or acting together for a common purpose or benefit	Collaboration, Partnership	DM,EB
...

Tableau 1.6 : Extrait de la spécification des concepts pour l'ontologie OntoKROM

Relation	Domain	Range	Natural Language Definition	Provider
Has for Mission	Actor	Mission	Relation describing that a actor has a mission	DM,FV
Belong to	Actor	Organization	Relation describing that a role belong to a organization	JG, EB
Is employed by	Actor	Company	Relation describing that a actor is employed by a company	Team Project
Cooperated with	Actor	Actor	Relation describing that a actor cooperate with another actor	EB, GF
Has for Task	Actor	Task	Relation describing that a actor has a task to fullfill	JG, GF
Include	Project	Organization	Relation describing that a project includes a organization	DM, EB
Is accountable for	Role	Task	Relation describing that a role is accountable of a task	EB, JG
Has for knowledge	Role	Knowledge	Relation describing that a role has for knowledge	DM, FV
Include Process	Project	Process	Relation describing that a project include a process	JF, DM
Is a deliverable	Result	Project	Relation describing that a result is a deliverable of a project	Project Team
Provide a deliverable	Task	Result	Relation describing that a task provides a result has a deliverable	DM, EB
...

Tableau 1.7 : Extrait du tableau de spécification des relations pour l'ontologie OntoKROM

Dans l'ontologie, une relation peut être utilisée plusieurs fois. Par exemple pour exprimer le fait qu'une personne possède plusieurs connaissances, la relation « Has for knowledge » sera utilisé à chaque fois qu'une connaissance est associée à un rôle.

Attributes	Associated Concept	Value	Natural Language Definition	Provider
Organization Name	Organization	String	The name used to identify a organization.	DM, EB
Number Of Role	Organization	Integer	The number of roles in a organization. A organization has, at least, two roles in interaction	DM, JG
Name of the Task	Task	String	The name to identify a task	Project team
Task Duration	Task	Integer	The duration of a task expressed by a number of days	JG, EB
Project Duration	Project	Integer	The duration of a project expressed by a number of days	Project Team
Number of activities	Process	Integer	The number of activities to support a process	AG, FV
Role of a actor	Actor	String	The name of a actor's role	DM, JG
Equipment Name	Production Means	String	The name of a equipment for a production means	FV, DG
...

Tableau 1.7 : Extrait du tableau de spécification des relations pour l'ontologie OntoKROM

Le tableau de spécification des relations permet de décrire les types de valeurs que pourront prendre chaque connaissance à travers leurs attributs. Par exemple, nous pourrions exprimer le fait qu'un acteur métier a le rôle de chef de projet et qu'il possède les compétences « Planifier le projet », « Estimer les budgets », « Estimer les risques », « Gérer les ressources humaines ».

Lorsque la phase de spécification est terminée, que le thésaurus est créé, nous pouvons développer l'ontologie à l'aide des langages adaptés. La section suivante présente le

développement de l'ontologie OntoKROM.

3.2.3 Implémentation et développement de l'ontologie OntoKROM

La représentation formelle d'une ontologie doit également prendre en compte la description des concepts, relations et attributs au langage naturel. Serna (Serna et al. 2014) précise que les ontologies doivent être compréhensibles aussi bien par les humains que par les ordinateurs.

Pour implémenter nos ontologies, nous utilisons l'éditeur Protégé qui est utile pour construire une ontologie sous forme de classes, propriétés et relations tout en assurant une retranscription selon les langages du Web sémantique que nous présenterons dans le chapitre 2. Protégé est également doté d'outils d'alignement et de fusion d'ontologie ainsi que d'interfaces de visualisation graphique. La figure 1.9 représente l'implémentation de l'ontologie OntoKROM. On retrouve les concepts et relations définis dans la phase de spécification précédemment décrite.

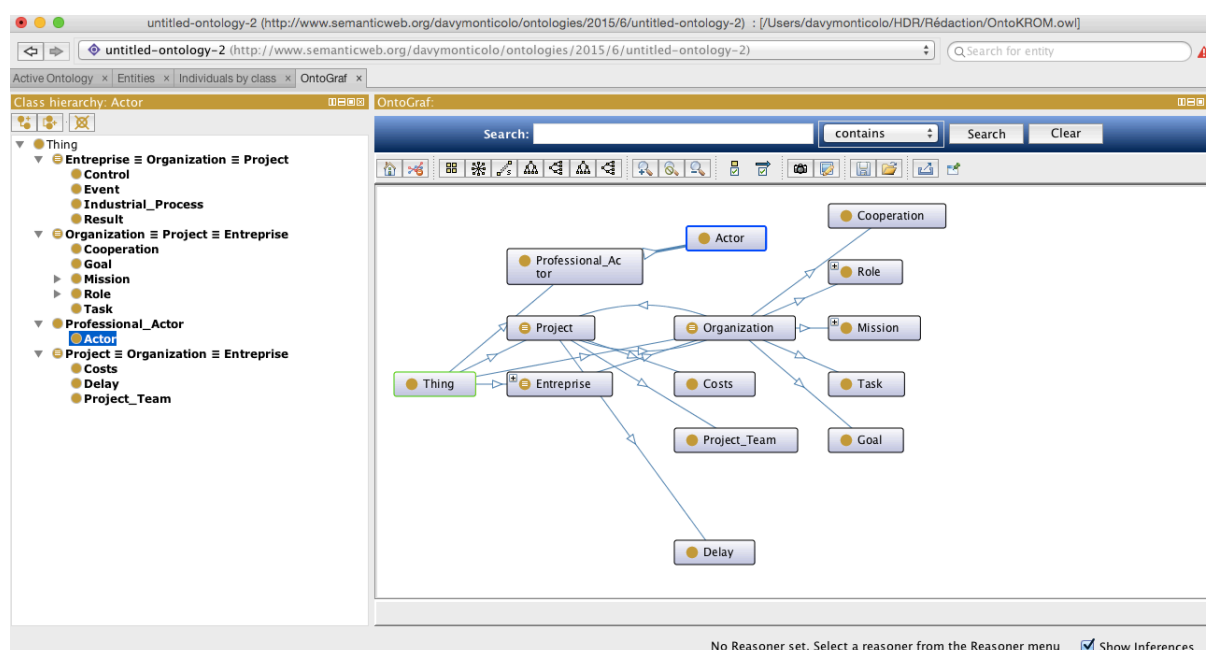


Figure 1.9 : Construction de l'ontologie OntoKROM en utilisant Protégé

3.3 Synthèse et analyse (approche de construction d'ontologies)

Notre approche de construction d'une base de connaissances est centrée sur la construction d'une ontologie de domaine à partir de la modélisation organisationnelle KROM. Les différents points de vue et modèles issus de KROM permettent aux concepteurs d'ontologie de pouvoir identifier les concepts nécessaires à capitaliser. Les étapes de conception et de spécification sont basées sur la construction d'un thésaurus puis une description détaillée des concepts/classes, et de leurs relations.

Notre approche de construction d'ontologie est basée sur certaines étapes des approches existantes. Son originalité réside dans le fait que le point de démarrage est la modélisation organisationnelle KROM pour déduire les connaissances à capitaliser et ainsi identifier les concepts et leurs relations.

Nous avons testé notre approche dans les projets industriels ADN (Alliance de Données Numériques) et notamment en collaboration avec les équipes de l'entreprise Essilor. L'utilisation d'un thésaurus et des tableaux pour représenter les concepts en les spécifiant en langage naturel permet aux experts de l'entreprise de facilement comprendre l'intérêt de l'ontologie et de pouvoir participer à sa construction.

Cette phase est importante puisque la constitution de la base de connaissances est primordiale pour la conception d'un système de gestion des connaissances. Dans la section suivante nous présentons notre approche de conception d'un système de gestion des connaissances basé sur le paradigme agent et utilisant le méta modèle KROM.

Les publications et communications suivantes sont accessibles pour plus de détails sur ces travaux de recherche : (Lahoud et al. 2012 – R10), (Lahoud et al. ... – S1), (Djiaz et al. 2008 – R4), (Lahoud et al. 2012 – C26), (Lahoud et al. 2012 – C25), (Matta et al. 2010 – C19)

4. Conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances

Après avoir formalisé, spécifié et représenté les connaissances à l'aide des ontologies, nous évoquons la conception de systèmes en mesure d'exploiter les ontologies pour permettre aux utilisateurs de capitaliser, mettre à jour et réutiliser les connaissances. La gestion des connaissances peut être réalisée au niveau individuel ou au niveau collectif. Bien souvent, le niveau individuel s'illustre par l'appropriation d'information déjà collectée ou annotée par d'autres personnes ou par une communauté de personnes. Il est donc intéressant de prendre en compte la notion de groupe lors de la conception d'un système de gestion des connaissances. De plus ce système doit s'adapter au changement de son environnement illustré par l'évolution des intérêts des utilisateurs, leurs besoins, leurs activités et processus métiers et leurs implications. Les systèmes multi-agents ont prouvé leurs efficacités lors de l'adaptation au changement de l'environnement (Omcini et al. 2004, So 2005). De ce fait, la conception d'un système de gestion des connaissances basé sur une architecture multi-agents permettra de doter ce dernier de propriétés telles que :

- La *réactivité*, en étant en mesure de répondre aux demandes des utilisateurs et à la dynamique de l'organisation humaine qui caractérise l'environnement du système.
- La *pro-activité* pour anticiper les attentes des utilisateurs ou de prévenir les difficultés par rapport aux objectifs fixés par l'organisation.
- La *flexibilité* pour permettre au système d'évoluer (ajout de nouveaux agents, de nouvelles tâches pour les agents, etc.) en fonction de l'évolution des connaissances et de l'organisation humaine (capitalisation et gestion de nouveaux types de connaissances, ajout de nouvelles personnes dans l'organisation, etc.)

De plus les caractéristiques sociales et cognitives des agents, procurent aux systèmes multi-agents des habilités à simuler des interactions et comportements humains (Jaekoo et al. 2013, Langevin et al. 2015, Kountouriotis et al. 2014, etc.). Par ailleurs l'analyse des structures organisationnelles est un point fondamental dans une approche de gestion des connaissances. À ce jour, les activités et processus utilisés dans les entreprises sont la plupart du temps distribués dans différentes organisations (services, départements, groupes projets). De plus ces organisations sont dynamiques c'est-à-dire qu'elles évoluent en fonction du marché, des acteurs et des évolutions technologiques. De telles caractéristiques nécessitent d'analyser, de bien comprendre et de souvent reconcevoir le modèle organisationnel pour comprendre l'échange des connaissances dans ces organisations. Plusieurs études sur les systèmes de gestion des connaissances (Le Chen et al. 2015, Jemielniak et al. 2009, Murray 2009, Leistner 2010) ont montré que ces systèmes deviennent obsolètes rapidement du fait d'une prise en compte inadéquate du contexte organisationnel. Les systèmes à base de connaissances ont donc besoin de modèles adaptés facilitant la compréhension des mécanismes de créations, d'échange, de mise à jour et de réutilisation des connaissances tels que ceux utilisés dans le paradigme agent.

Dans le domaine de l'intelligence artificielle, les agents sont définis comme des entités cognitives ayant des caractéristiques telles que des objectifs, des croyances, des intentions, des engagements, etc. et sont issus de recherches concernant de nombreux domaines (science cognitive, économie, sociologie, ingénierie, etc.). Un agent peut être vu comme une entité évoluant dans un environnement dans lequel il perçoit certaines informations et dans lequel il

agit en fonction de ces intentions pour faire évoluer cet environnement (Wooldridge 2002). Le fait que l'agent puisse percevoir des informations provenant de l'environnement dans lequel il évolue et qu'il puisse agir en conséquence démontre ses capacités de réactivité. De plus, l'agent peut réagir, mais également anticiper et décider d'agir par lui-même en adéquation avec ses intentions et objectifs ce qui démontre ses capacités de pro-activités. Par ailleurs un agent évolue dans un environnement en communauté avec d'autres agents et interagit avec ces derniers. Ces actions peuvent également provenir d'événements déclenchés (messages ou actions spécifiques) par les autres agents possédant eux-mêmes leurs propres objectifs.

Depuis plusieurs années, une partie des recherches dans le domaine des systèmes multi-agents s'intéressent aux aspects organisationnels tel que je l'ai présenté dans la section 1 de ce chapitre avec la proposition de plusieurs modèles organisationnels issus du domaine des SMA. Sichman dans (Sichman et al. 2005) ont même proposé un champ de recherche appelé « Agent Organization » approfondi en 2009 dans (Dignum 2009). Ce champ de recherche se focalise sur la modélisation des organisations humaines, mais également sur la dynamique des organisations (Barbosa et al. 2015, Yeom 2010). Ces travaux abordent également les problématiques des communautés auto-organisées (De Abreu Netto et al. 2015, Verstaevael et al. 2015, Bandini et al. 2010) ou l'impact des différentes structures organisationnelles sur l'efficacité des organisations ou encore comment apporter les informations pertinentes pour qu'une organisation puisse s'adapter au changement.

Au fur et à mesure que les modèles organisationnels ont émergé les techniques de conception d'agents on permis de développer des agents intégrant des aspects sociaux, et coopératifs. Je présente dans la suite de ce chapitre notre méthode de conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances et basés sur le modèle organisationnel KROM.

4.1 DOCK, une approche organisationnelle de conception de systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances

Cette section présente une approche organisationnelle de conception de systèmes multi-agents dédiés à l'ingénierie des connaissances. Cette approche, appelée DOCK (Design based on Organization, Competences and Knowledge), se base sur le modèle KROM pour concevoir l'architecture fonctionnelle puis organique d'un SMA afin de constituer un système à base de connaissances. L'approche se construit autour de quatre étapes de conception qui sont formalisées sur 1.9. La première étape de l'approche consiste à modéliser l'organisation humaine qui sera supportée par le futur système à base de connaissances. Une fois cette modélisation réalisée, les concepteurs du futur système peuvent s'attaquer à modéliser l'organisation virtuelle à mettre en place pour supporter au mieux le cycle de vie des connaissances. Ces deux étapes constituent la phase de conception fonctionnelle de l'architecture du système.

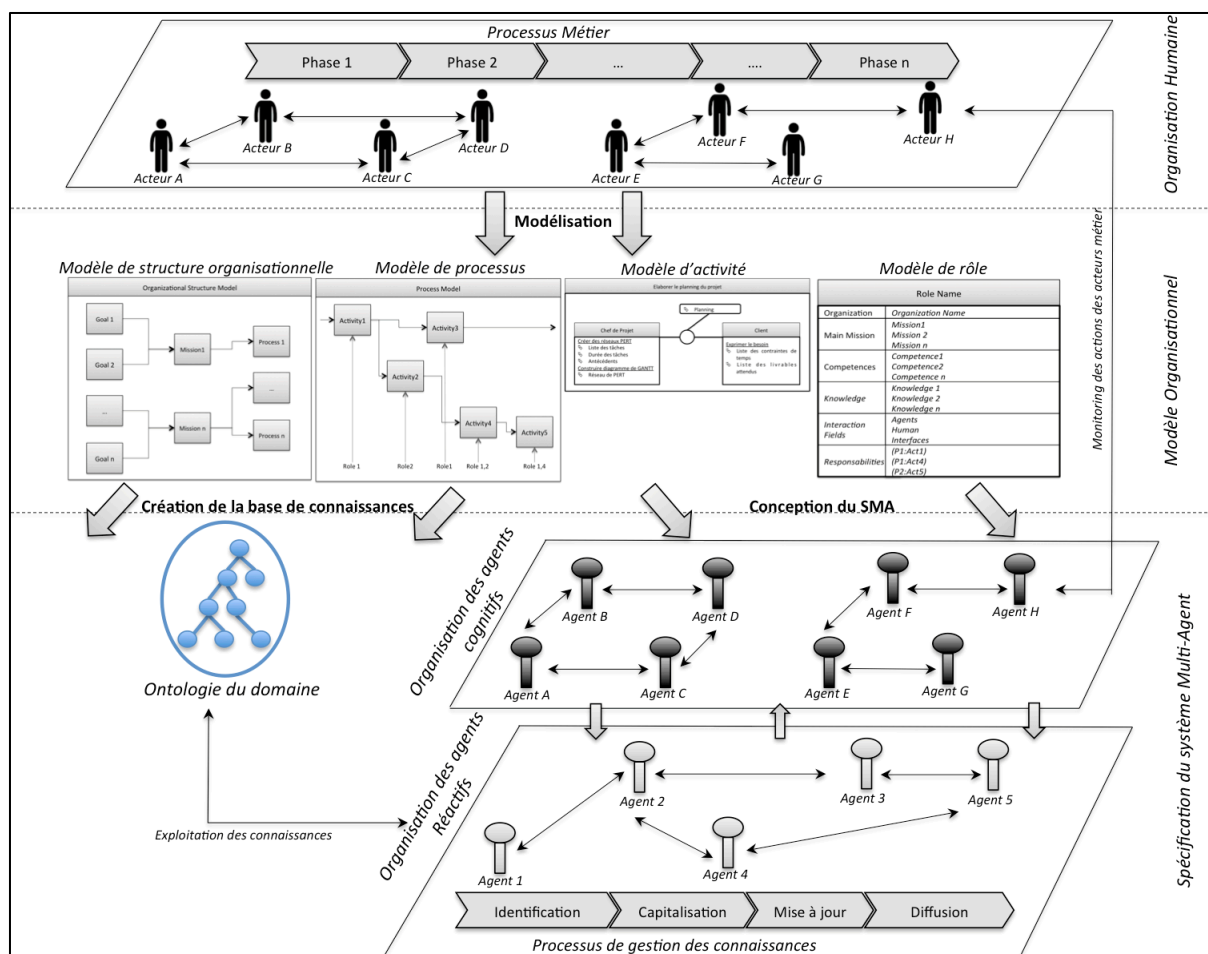


Figure 1.9 : Méthode de conception du système multi-agent, DOCK

La seconde phase de DOCK consiste à réaliser la conception organique du système. Dans cette phase, le système est décrit en termes d'agents et d'interactions. Elle regroupe deux étapes. Tout d'abord elle propose une étape de description du modèle agent où le système va être décrit par les agents qui le composent et leur organisation générale. Ensuite vient une étape de description des interactions entre les agents, la base de connaissances (ontologie du domaine) et les acteurs humains sur l'ensemble des cas d'utilisation du système. Elle permet de décrire le système de manière plus précise afin de pouvoir par la suite entrer dans sa conception technique. Ces quatre étapes de conception du système sont fortement liées entre elles. Elles impliquent donc de nombreuses itérations et raffinement des différents modèles. Il est donc crucial d'avoir un pilotage transverse entre ces quatre étapes de conception, que se soit par un chef de projet, un ingénieur système, ou un coordinateur métier. Afin de les préciser, ces quatre étapes sont décrites une par une ci-dessous.

4.1.1 Étape 1 : Modélisation de l'organisation humaine

Carley (Carley 2002) explique que l'analyse et l'étude des organisations humaines permettent de concevoir des modèles informatiques qui peuvent être utilisés pour améliorer trois perspectives dans ces organisations: la structure, le partage de l'information, et la coopération sociale. Le paradigme agent avec ses possibilités en termes de coordination, de stigmergie, d'adaptabilité et d'évolution fournit de nouveaux horizons pour améliorer la performance des organisations humaines. De plus, les langages de conception de SMA comme AML (Agent language Modeling) (Cervenka et al. 2007), GRL (Goal Oriented

Requirement Language) (Amyot et al. 2010), CAMLE (Caste-Centric Agent Modeling Language) (Shan et al. 2004), ou plus récemment S-CLAIM (Baljak et al. 2012) et AgentTest (Bagić Babac et al. 2014) fournissent des cadres structurés pour le développement de modèles organisationnels.

Un modèle organisationnel est une représentation conceptuelle du comportement humain. Elle s'appuie sur une syntaxe qui prend en compte les spécifications organisationnelles afin de concevoir des organisations d'agents. Tous ces modèles proposent des cadres pour développer des agents autonomes, pour spécifier les tâches complexes qu'ils auront à effectuer, pour les coordonner et gérer leurs communications. Cependant, même si les informations que les agents s'échangent entre eux sont bien décrites, le cycle de vie de la connaissance, de sa création, à sa diffusion en passant par son partage, sa mise à jour et son évaluation n'est pour la plupart du temps, pas pris en compte.

Afin de contribuer à cette problématique, DOCK utilise la méthodologie de modélisation organisationnelle issue de KROM pour décrire les éléments nécessaires et suffisants permettant la mise en œuvre d'un système de gestion des connaissances. L'organisation humaine supporte un processus métier (figure 1.9) qui peut être un processus de développement logiciel, de conception de produit, d'industrialisation, etc. Nous modélisons cette organisation à l'aide des concepts de KROM qui ainsi décrite selon trois domaines :

- Le domaine de la gestion de l'organisation avec le modèle de structure organisationnelle et le modèle de processus, pour formaliser les missions des acteurs, leurs objectifs au sein de leurs organisations, les processus mis en œuvre (liste et ordonnancement des activités à accomplir) ainsi que la liste des livrables de ces activités ;
- Le domaine de gestion des connaissances avec le modèle d'activité permettant de décrire la cartographie des connaissances utilisées en fonction des différentes activités ;
- Le domaine de gestion des compétences avec le modèle de rôle permettant d'obtenir une description détaillée des rôles impactés et de leur niveau d'interaction et de responsabilité.

Cette étape de modélisation de l'organisation humaine (figure 1.9) est importante puisqu'il va nous permettre de concevoir le système multi-agent. En effet les concepts de KROM permettant de construire les quatre modèles (structure organisationnelle, processus, activité et rôle) apportent l'ensemble des informations nécessaires pour que le système multi-agent puisse monitorer les actions des acteurs métier en vue d'identifier, capitaliser et réutiliser les connaissances créées par les humains. Je détaille la spécification des agents dans la section suivante.

4.1.2 Étape 2 : La modélisation des organisations des agents

Une fois l'organisation humaine modélisée, il convient de faire la même chose avec l'organisation des agents qui va constituer l'architecture du système de gestion des connaissances. En effet, DOCK est une méthode de conception organisationnelle d'un système multi-agents ; la spécification du système se fait donc par une approche descendante, allant de la description de l'organisation générale des agents jusqu'à la spécification interne des agents.

DOCK est focalisé sur la conception d'un système à base de connaissances utilisant le

paradigme agent. Ce système se doit donc d'être réactif, proactif et flexible. Afin de répondre, à ces exigences, DOCK repose sur l'hypothèse de conception suivante :

La pro-activité et la réactivité du système global sont rendues efficaces par la dissociation de ces deux propriétés dans des organisations d'agents distinctes. Cette dissociation apporte de plus une flexibilité générale au système.

Partant de cette hypothèse, un SMA conçu avec cette approche possède deux types d'agents :

Des *agents cognitifs*, d'une part, qui sont issus de la modélisation des organisations humaines supportées. Ces agents sont toujours en contact avec les acteurs métiers pour pouvoir leur apporter une assistance proactive dans leurs activités.

Des *agents réactifs*, d'autre part, qui assurent le fonctionnement du cycle de gestion des connaissances choisi, en répondant à des sollicitations extérieures (des agents cognitifs ou des acteurs métier). Ces derniers ne sont pas spécifiés à partir de la modélisation des organisations humaines.

Cette conception modulaire du SMA avec des organisations et des types d'agents différents permet donc d'obtenir un système flexible et adaptable à différents types de processus. Le système obtenu par cette méthode de conception se présente donc sur trois niveaux organisationnels. Le premier est celui de l'organisation humaine. Le second correspond à l'organisation des agents cognitifs qui ont pour mission de monitorer les actions des acteurs humains. Pour finir le troisième niveau est celui des agents réactifs qui assurent les tâches complexes du traitement de l'information et qui supportent le processus de gestion des connaissances.

L'étape de conception du système se fait donc sur deux organisations d'agents : celle des réactifs et celle des cognitifs. Là aussi, DOCK utilise la méthodologie de modélisation organisationnelle issue de KROM afin de décrire les organisations d'agents selon les trois domaines de modélisation:

Le domaine de la gestion de l'organisation, avec la description des missions des agents et leurs objectifs au sein de leurs organisations, leurs processus (liste et ordonnancement des activités à accomplir), et la liste des résultats à fournir,

Le domaine de gestion des connaissances traitées par les agents où sont décrites les connaissances utilisées par le système et par chaque agent en fonction de ses activités,

Le domaine de gestion des compétences des agents avec la description de leurs savoir-faire et responsabilités.

L'étape de conception débute donc avec la modélisation des organisations humaines qui devient le référentiel de départ pour la modélisation de l'organisation des agents cognitifs. Finalement, ces différents points de vue permettent de mettre en corrélation la structure organisationnelle, la description des connaissances et la spécification des rôles des agents dont l'importance a été précisée par Guizzardi (Guizzardi 2006). À partir de ce point, il reste à rentrer plus dans le détail de la spécification des agents, de la répartition des rôles identifiés précédemment ainsi que de l'organisation générale du système.

4.1.3 Étape 3 : Description du modèle agent (agentification)

Une fois les trois organisations modélisées (acteurs humains, agents cognitifs et agents réactifs) selon les trois points de vue issus de KROM, la suite de l'approche DOCK consiste à spécifier en détail les agents qui vont endosser les différents rôles identifiés par la modélisation, et ce, pour les deux organisations d'agents.

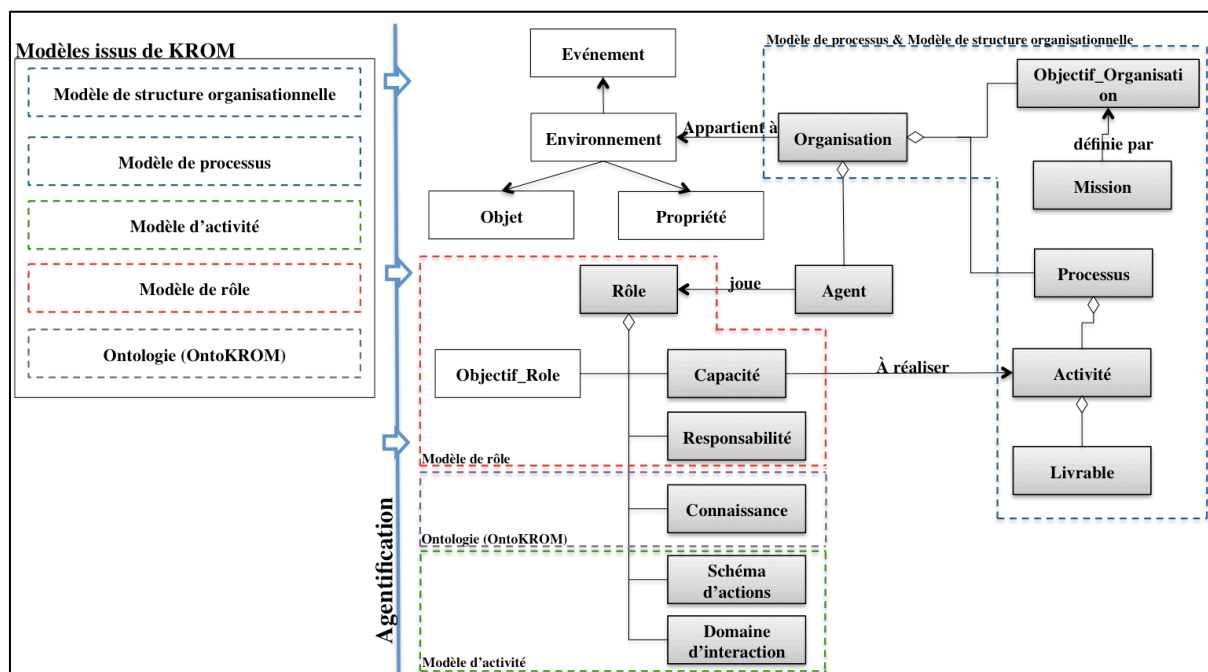


Figure 1.10 : Processus d'agentification ; correspondance entre les modèles issus de KROM et la spécification des agents

Le processus d'agentification se base sur la modélisation réalisée à l'étape 1. Les quatre modèles issus de KROM permettent de spécifier la structure de l'agent. Sur la figure 1.10, je mets en évidence les correspondances entre les modèles issus de KROM et les caractéristiques des agents. Un agent est constitué des mêmes concepts qu'un acteur humain selon KROM à part que son modèle possède en plus les concepts « Environnement » avec ses objets, ses propriétés et événements, ainsi que le concept d'objectif personnel. Ces concepts additionnels sont représentés par un encadré blanc sur la figure 1.10.

L'environnement pour un système multi-agent est très important puisque c'est à partir de l'environnement que l'agent reçoit de l'information et agit en fonction. Dans l'approche DOCK l'environnement et ses attributs ne proviennent pas de la modélisation organisationnelle préalable, ils doivent être spécifiés lors de l'étape d'agentification. Dans le cas d'un système multi-agent dédié à la gestion des connaissances, tel que le système OCEAN (Lahoud et al. 2012) que nous avons développé dans le cadre du projet ADN (Alliance de Données Numériques), l'environnement est composé de sources d'information telles que des bases de données, pages Web ou fichiers XML créés par des logiciels. Le concept d'objet permet de décrire le type d'information. Les propriétés de l'environnement permettent d'élaborer un connecteur pour que les agents puissent extraire l'information. Les événements sont les modifications reçues de l'environnement, c'est-à-dire envoyées par la source d'information.

Dans l'approche DOCK les agents cognitifs sont inspirés des rôles des humains puisque qu'ils monitorent les actions des acteurs métier. Le nombre d'agents et les rôles endossés sont liés au fonctionnement de l'organisation humaine. En effet, certaines missions peuvent être partagées par plusieurs rôles, et des actions réalisées par différents rôles humains peuvent être centralisées sur un seul agent. La spécification des agents cognitifs est donc entièrement liée à l'organisation humaine étudiée. L'objectif est donc de reprendre les différents rôles formalisés à travers les modèles de rôles de la modélisation organisationnelle et d'identifier les associations qui peuvent être faites pour définir le nombre d'agents le mieux adapté à la situation et aux activités à réaliser.

L'ensemble des concepts grisés définissant les caractéristiques de l'agent, représenté sur la figure 1.10, est spécifié à partir de la modélisation organisationnelle KROM. La spécification des agents cognitifs est construite à partir des modèles suivants :

- Le modèle de structure organisationnelle et le modèle de processus issus de KROM permettent de spécifier les propriétés des organisations d'agents cognitifs avec leurs objectifs, missions, processus, activités et livrables.
- Le modèle d'activité permet de détailler les schémas d'actions (liste des tâches réalisées par l'agent) et les domaines d'interactions c'est-à-dire la spécification des interactions entre agents ou entre humains et agents (interfaces, messages, etc.)
- Le modèle de rôle permet de spécifier le(s) rôle(s) de l'agent avec ses capacités (liste des fonctions) et ses responsabilités. Les responsabilités décrivent l'autorité de l'agent. Par exemple quand un agent « chef de projet » interagit avec un agent « client », l'agent chef de projet sera en charge de l'élaboration du livrable « cahier des charges » puisqu'il en est responsable. À cette étape il est nécessaire de définir les objectifs internes des agents. Ces objectifs permettent de hiérarchiser la liste des actions que doivent effectuer les agents. Lorsqu'un agent est dans une organisation, il contribue à atteindre les objectifs de l'organisation en premier puis il essaye d'atteindre ses objectifs si il le peut.
- Le modèle de connaissances c'est-à-dire l'ontologie OntoKROM permet de lister les connaissances dont l'agent a besoin. Les connaissances sont accessibles en fonction du rôle de l'agent. Par exemple, l'agent chef de projet n'a accès qu'aux connaissances liées au rôle chef de projet dans les instances de l'ontologie.

La conception des agents réactifs n'est pas basée sur la modélisation des organisations humaines. En effet les agents réactifs ont pour objectif de supporter le processus métier pour lequel le système est conçu c'est à dire, dans notre cas, le processus de gestion des connaissances. Pour ce faire les rôles des agents sont déduits des fonctions que doivent accomplir les agents et qui représentent les phases du processus de gestion des connaissances de l'identification à la réutilisation des connaissances. La figure 1.11 présente l'agentification que nous avons choisie pour développer le système multi-agent SNOTRA dans le projet Essilor (Girodon et al. 2015). Chaque agent réactif de SNOTRA assure une ou deux étapes du processus de gestion connaissances, par exemple l'agent ACC (Agent Capitalisation des Connaissances) est en charge d'identifier et de sauvegarder les connaissances.

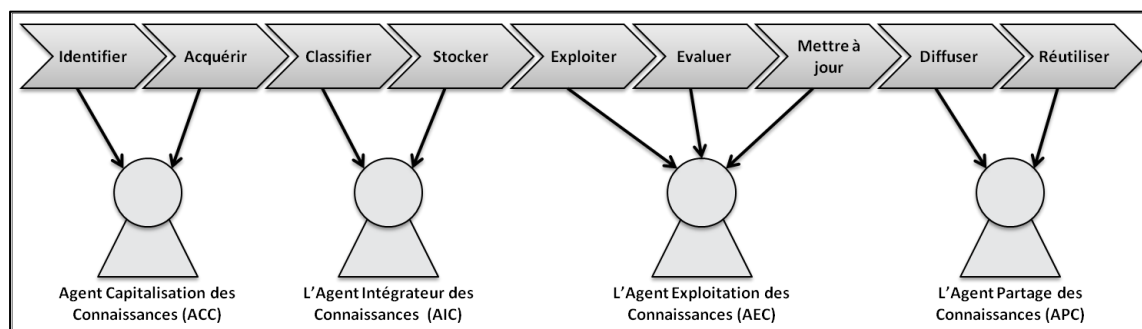


Figure 1.11 : Les différents agents réactifs choisis en fonction des phases du processus de gestion des connaissances

Après avoir choisi les différents types d'agents du système en fonction des étapes du processus de gestion des connaissances, il est intéressant d'élaborer les quatre modèles de KROM pour avoir une vue complète des organisations d'agents réactifs.

4.1.4 Étape 4 : Description des interactions entre agents

Les agents interagissent directement par envoi de messages entre eux ou avec les acteurs humains ou indirectement en diffusant des informations dans l'environnement. Les interactions directes par envoi de messages expriment une intention de communication conformément à la théorie des actes de langage (Searle 1969). Ce type d'interaction est préconisée par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents – www.fipa.org), elle facilite l'échange de messages entre les agents quand ils le décident et quand ils en ont besoin. Les interactions indirectes nécessitent une écoute permanente de l'environnement afin que les agents puissent percevoir et capter les informations provenant de l'extérieur.

Dans nos différents travaux de conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances (Monticolo et al. 2008, Mahdjoub et al. 2009, Lahoud et al. 2012, Monticolo et al. 2014a, Monticolo et al. 2014b, Girodon et al. 2015) nous avons utilisé les deux types d'interactions. Les interactions indirectes sont utilisées par les agents cognitifs dans les deux cas suivants :

- Lors du monitoring des actions des acteurs humains. Les interactions s'effectuent entre les agents cognitifs et l'environnement. Pour l'implémentation de nos systèmes de gestion des connaissances, l'environnement est constitué principalement des sources d'informations telles que des bases de données, des fichiers XML ou des fichiers avec des formats propriétaires. La communication entre les sources d'informations et les agents nécessite le développement de connecteurs spécifiques (Lahoud et al. 2013). La figure 1.12 présente le fonctionnement des interactions indirectes utilisées par les agents.

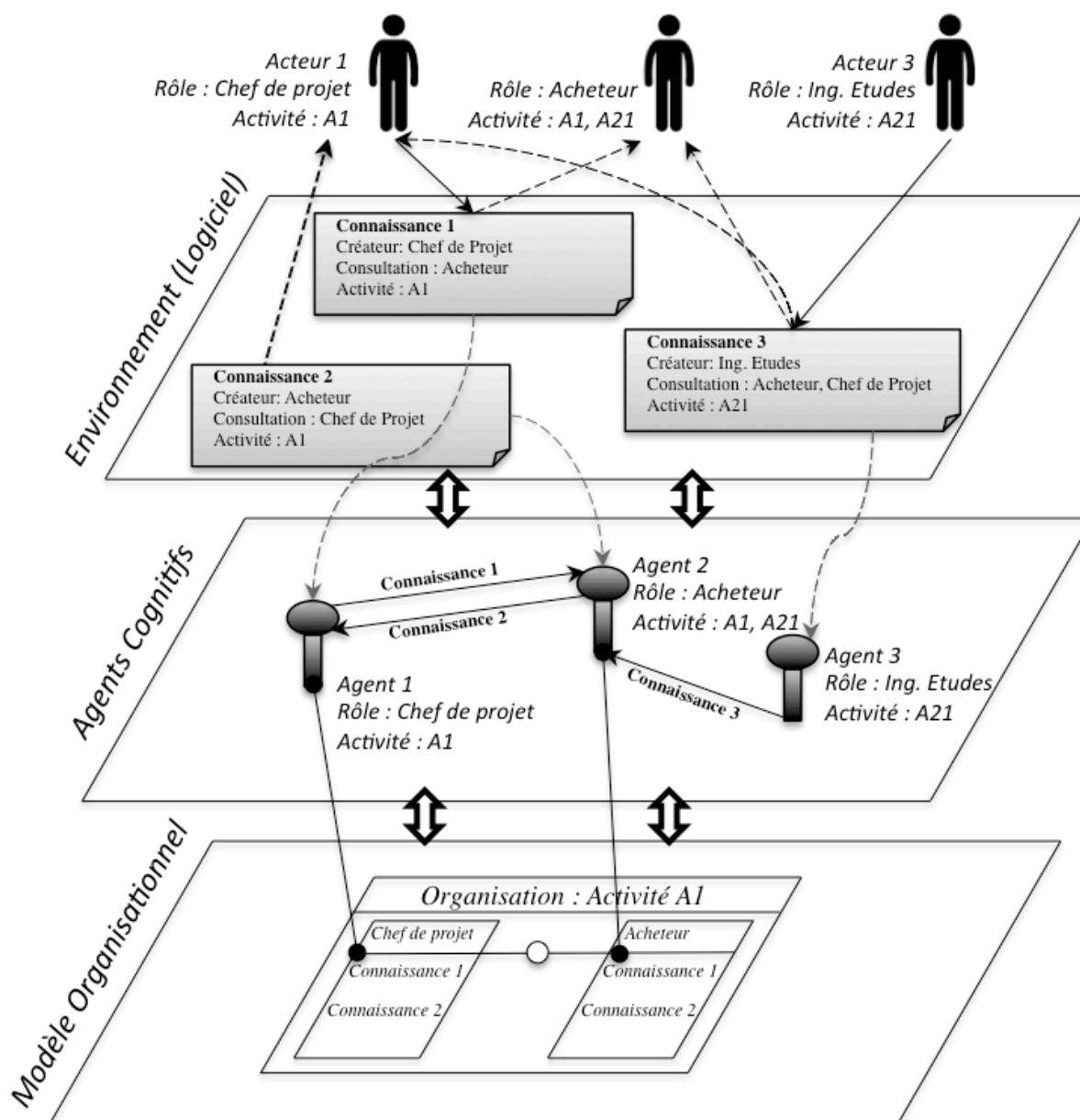


Figure 1.12 : Interactions indirectes utilisées par les agents cognitifs

Les acteurs métier travaillent ensemble dans un projet pour atteindre des objectifs communs. Ils utilisent des outils logiciels pour déposer les résultats de leurs activités et ainsi créent de la connaissance. Les agents cognitifs utilisent leurs modèles organisationnels pour suivre et comprendre les actions des acteurs métier. C'est grâce aux modèles qu'ils savent qu'il peuvent écouter l'environnement pour détecter quelle activité est en train de réaliser leur acteur humain et ainsi récupérer la connaissance déposée dans le logiciel et la partager avec d'autres agents. Dans l'exemple de la figure 1.12, nous observons trois acteurs, l'acteur 1 ayant le rôle de chef de projet et réalisant une activité A1, l'acteur 2 ayant le rôle d'acheteur et réalisant également l'activité A1 et l'acteur 3 ayant le rôle d'ingénieur d'études et réalisant l'activité A21. Le chef de projet dépose une connaissance A1 dans l'environnement logiciel qui sera consultée par l'acheteur. Il existe un agent cognitif pour un acteur humain. L'agent 1, ayant le rôle de chef de projet est attentif aux événements de l'environnement. Dès que le chef de projet dépose la connaissance 1 lors de son activité A1, son agent la

récupère. Cette communication est donc une interaction indirecte. Grâce au modèle organisationnel, l'agent 1 sait qu'il doit partager la connaissance 1 agent l'agent 2 ayant le rôle d'acheteur.

- Le second cas d'interaction indirect est utilisé lorsque les agents cognitifs diffusent ou assiste les acteurs métier à réutiliser leurs connaissances. Dans le cadre du SMA OCEAN (Lahoud et al. 2012), présenté au chapitre 2, l'environnement des agents cognitifs est un wiki sémantique. Les agents publient les connaissances capitalisées dans le wiki sémantique. Ils perçoivent également les modifications ou ajouts d'articles dans le wiki par les acteurs humains. Cette interaction indirecte entre agents et humains permet de mettre à jour la base de connaissances.

Par ailleurs, nos agents utilisent également des interactions directes entre agents cognitifs, entre agents réactifs et entre les agents des deux différents types. Les interactions directes entre les agents cognitifs se font dans le cadre du partage de connaissances dans une organisation telle que le montre la figure 1.12 entre l'agent 1 et l'agent 2 ayant respectivement les rôles de chef de projet et d'acheteur. Ces interactions directes entre cognitifs sont initiées grâce au modèle d'activité élaboré dans l'étape 1 de l'approche DOCK.

Les agents réactifs ont pour objectif d'assurer un processus de traitement de l'information qui est dans notre cas celui de la gestion des connaissances. Les interactions directes entre les réactifs permettent de suivre le cycle de vie des connaissances. Par exemple l'agent ACC (figure 1.11) dont les missions sont d'identifier et d'acquérir une connaissance (c'est-à-dire de l'extraire d'une base de données ou d'un fichier) interagit avec l'agent AIC pour lui transmettre la valeur capitalisée afin que celle-ci soit sauvegardée.

Le troisième type d'interaction directe s'effectue entre les agents réactifs et les agents cognitifs. Les agents cognitifs n'ayant pas accès directement à la base de connaissances (instances de l'ontologie), ils doivent solliciter les agents réactifs dans deux cas possibles, soit pour avoir accès à une connaissance capitalisée, soit pour envoyer une connaissance à sauvegarder dans la base. Je présenterai dans le chapitre suivant les mécanismes et langages permettant de sauvegarder, exploiter, consulter les bases de connaissances basées sur les ontologies.

La communauté travaillant sur les systèmes multi-agents a proposé deux langages de communication, dont le langage KQML (Knowledge and Query Manipulation Language) (Labrou 1997). KQML est basé sur la théorie des actes de langages. Le message est décomposé en trois couches « content », « message » et « communication ». Le deuxième langage a été proposé par la FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), et appelé ACL (Agent Communication Language) (FIPA 2002). Ce langage est proche de KQML puisqu'il est également basé sur la théorie des actes du langage. La différence réside sur le fait que les messages possèdent deux primitives supplémentaires : « inform » and « request ». De plus dans le langage KQML, la sémantique des messages est exprimée avec des « post » et « pré » conditions alors que dans ACL la sémantique des messages est basée sur les actes de langage et considérée comme des actions rationnelles (Bretier et al. 1997).

Les agents que nous avons implémentés dans le cadre de la méthode DOCK interagissent et assurent le processus de gestion des connaissances en utilisant une structure de message de type ACL. Les messages sont structurés selon les paramètres suivants :

Paramètre du message	Signification du paramètre
sender	Identifiant de l'agent émetteur
receiver	Adresse du ou des agents destinataires
reply-to	Identifiant de l'agent auquel doit être envoyé une réponse
performative	Performatif de l'acte de communication
language	Langage utilisé pour décrire le contenu
encoding	Encodage de caractères utilisé
Ontology	Ontologie utilisée pour définir les concepts de contenu
Conersation-id	Identifiant de la conversation
Protocol	Identifiant du protocole utilisé pour la conversation
Reply-with	Numéro du message dans la conversation
In reply to	Numéro de message auquel celui-ci répond
Reply by	Délai de réponse pour ce message

Tableau 1.8 : Structure des messages utilisée selon la norme FIPA ACL

Afin de spécifier et documenter les interactions, nous utilisons le langage AML – Agent Modeling Language (Cervanka et al. 2007). La figure 1.13 présente l'exemple de l'archivage d'une connaissance et la communication entre les agents cognitifs et les agents réactifs.

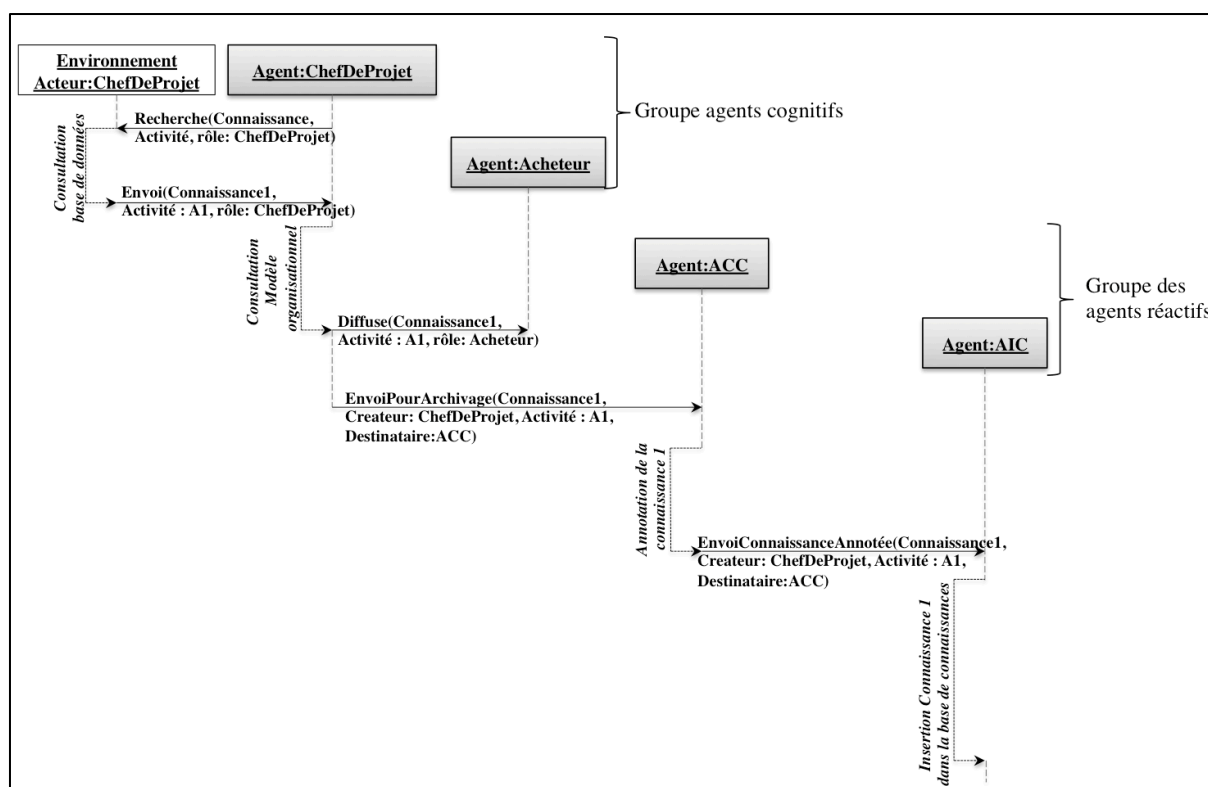


Figure 1.13 : Protocole d'archivage d'une connaissance entre les agents cognitifs et réactifs

L'agent cognitif chef de projet détecte les connaissances déposées dans l'environnement de l'acteur métier (humain) chef de projet. Il consulte le modèle organisationnel pour savoir avec quel autre agent cognitif il doit partager cette connaissance. Dans l'exemple ci-dessous, il diffuse la connaissance à l'agent Acheteur. Ensuite les agents cognitifs envoient les connaissances collectées à l'agent réactif ACC (Agent Capitalisation des Connaissances) afin que celui-ci annote la connaissance. Cette annotation décrit le contexte organisationnel dans lequel a été capturé la connaissance à savoir le créateur (chef de

projet) l'activité dans laquelle la connaissance a été créée (A1) et le ou les rôles des acteurs qui ont eu accès à cette connaissance (Acheteur). Lorsque l'agent ACC a terminé son annotation, il l'envoie à l'agent réactif AIC (Agent Intégrateur de Connaissances) qui insère cette connaissance dans la base de connaissance en utilisant le langage associé à l'ontologie. Je décrirai les langages utilisés par les agents pour communiquer avec l'ontologie dans le chapitre suivant.

4.2 Synthèse et analyse (conception de systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances)

L'approche DOCK de conception d'un système multi agent dédié à la gestion des connaissances est basée sur l'analyse et la modélisation des organisations humaines. A partir de cette analyse le concepteur établit un modèle organisationnel utilisant KROM et qui va lui permettre de spécifier de connaissance sous forme d'ontologie (OntoKrom) et de spécifier les organisations d'agents nécessaires (agents cognitifs et agents réactifs). Le concepteur doit ensuite rédiger la description des interactions entre les agents et les humains ainsi que les mécanismes d'exploitation des connaissances (figure 1.14). Les mécanismes d'exploitation des connaissances sont expliqués en détail dans le chapitre II.

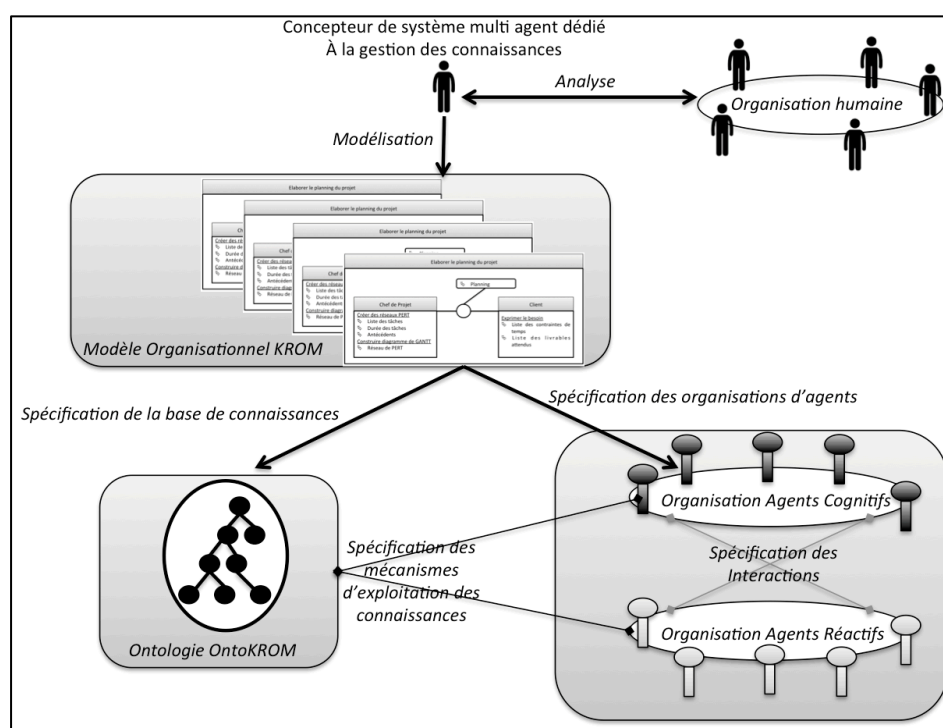


Figure 1.14 : Synthèse de l'approche DOCK

Plusieurs travaux de recherche utilisent l'approche organisationnelle pour concevoir des systèmes multi agents. Par exemple, le modèle AALAADIN/AGR (Ferber et al. 2004) utilisent les concepts d'agents, groupes et de rôles. Le modèle MOISE+ (Hubner et al. 2002) utilise un modèle organisationnel construit sous trois aspects : structurel, fonctionnel et déontique. Le concept de déontique est complété dans le modèle OperA (Dignum 2004) avec les concepts de normes et d'institutions. On observe donc à travers ces différents modèles, une approche de conception en quatre niveaux ; la spécification de la structure organisationnelle (Propriété des agents), des fonctions organisationnelles (Objectif des

agents), des interactions organisationnelles (Communication entre les agents) et ses normes organisationnelles (règles de régulations entre les trois niveaux précédents).

Dans l'approche DOCK, utilisant le modèle organisationnel KROM, les règles d'interactions (normes, institutions, etc.) sont décrites lors de la modélisation à travers la déclinaison de l'organisation en modèles de structure, de processus, d'activité et de rôles. DOCK ne décrit pas les règles avec autant de précision que le fait OperA ou MOISE+ mais l'avantage de DOCK est qu'il permet à partir d'une modélisation d'organisations humaines de spécifier à la fois les organisations d'agents et l'ontologie qui servira aux agents pour capitaliser, exploiter et réutiliser les connaissances.

Les publications et communications suivantes sont accessibles pour plus de détails sur ces travaux de recherche : (Girodon et al. 2015 – R14), (Monticolo et al. 2014 – R11), (Monticolo et al. R5), (Gabriel et al. – C35), (Girodon et al. 2015 – C34), (Lahoud et al. 2014 – C31), (Monticolo et al. 2013 – C28), (Monticolo et al. 2012 – C24), (Toledo et al. 2011 – C21), (Ben Milled et al. 2009 – C15), (Ben Milled et al. 2008 – C11), (Monticolo et al. ..., S4)

Chapitre II

Exploitation des connaissances & Web Intelligence

Ce chapitre présente ma contribution sur la gestion des connaissances assimilées à des ressources Web. En effet aujourd'hui les entreprises se sont tournées vers l'utilisation de logiciels, de services distribués ou d'applications basées sur les technologies du Web. Les données et les sources d'informations sont souvent codées selon les standards des langages du Web. Il est donc primordial de comprendre ces langages afin de pouvoir exploiter les informations et connaissances issues de ces informations qui sont considérées comme des ressources du Web. De plus, étant donné la quantité importante de données utilisées par les entreprises et sur Internet, il est devenu incontournable d'introduire l'aspect sémantique pour traiter des connaissances. Ce chapitre présente les différents langages de Web Sémantique et la manière dont ils m'ont permis d'identifier, annoter, exploiter et réutiliser les connaissances issues des ressources du Web.

1. Problématique

De nos jours, le Web représente une base gigantesque de données, d'informations et de connaissances. La problématique actuelle est de pouvoir définir quelles sont les connaissances pertinentes dont l'internaute a besoin. De plus, le Web étant un système dynamique, le nombre impressionnant de données déposées chaque seconde via le cloud (Ovada 2013) ou les réseaux sociaux (Nettleton 2013) accentue la problématique de l'accessibilité, du repérage et de l'annotation des connaissances.

La vision du Web Sémantique de Berners Lee (Berners-Lee 2001) est de fournir un ensemble de langages pour enrichir les pages Web afin de décrire le sens de leurs contenus et ainsi faciliter leur compréhension par les systèmes de traitement de l'information. De par ce fait le Web est passé d'une simple collection de pages Web au format HTML à un ensemble de programmes construits sur des langages différents (XML, RDF,...) procurant ainsi de nombreuses fonctionnalités à travers l'utilisation de plusieurs protocoles de communication.

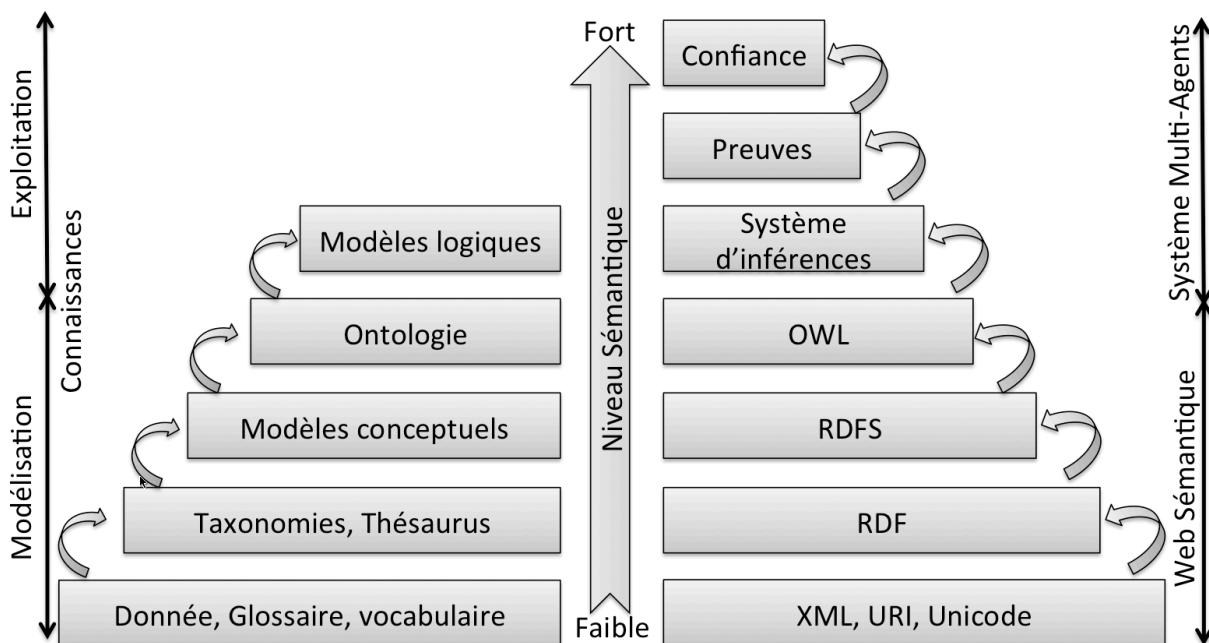


Figure 3.1 : Gestion des connaissances du Web à l'aide du Web Sémantique et des agents

La figure 3.1 présente les différents niveaux permettant la gestion des connaissances sur le Web. Cette représentation met en évidence l'importance de combiner les langages du Web Sémantique avec les systèmes multi agents. Les premiers permettent de modéliser, structurer et représenter les connaissances et les seconds permettent d'inférer, exploiter et apporter une confiance sur les ressources du Web.

1.1 Premier niveau : Données, Glossaires et Vocabulaires

Le niveau Données est géré par l'Unicode et les Uniforme Ressource Identifier (URI). L'Unicode est un standard défini par le consortium international Unicode Consortium⁹ pour représenter les milliers de caractères présents dans les pages informatiques. L'URI est également un standard pour identifier et localiser les ressources sur le Web. Cette première couche du Web Sémantique fournit donc une technologie pour représenter les caractères et symboles les plus utilisés dans le monde et les localiser à travers les pages Internet.

Les glossaires de données ainsi que le vocabulaire pour les structurer sont construits à partir du langage XML (eXtensible Markup Language). Ce langage permet de décrire les données proposées par les internautes au moyen de tags. L'utilisateur définit lui-même ses tags et crée ainsi son propre vocabulaire. XML utilise une syntaxe particulière appelée DTD pour rendre compréhensible et valider les tags ainsi que des balises de mise en forme (CSS) pour faciliter la représentation des données. XML permet ainsi aux internautes de structurer leurs données sur le Web. Grijzenhout (Grijzenhout et al. 2013) et Tahraoui (Tahraoui et al. 2013) soulignent l'importance de bien construire les documents XML afin qu'ils puissent être interprétables par les autres langages du Web Sémantique. XML est très fortement utilisé pour encapsuler les données et permettre aux systèmes multi-agents de pouvoir communiquer dans le cadre d'applications Web (Pinzón et al. 2011, Rosaci et al. 2014) et mobiles (Chen et al. 2008, De Meo et al. 2007).

1.2 Deuxième niveau : Taxonomie, thésaurus et le langage RDF

Une taxinomie ou taxonomie est une classification en arbre ou en treillis de catégories, classes ou types. La mise en place d'une taxinomie est utile pour classifier les données du Web (Zhang et al. 2004, Meijer et al. 2014). Le thésaurus est également une collection de termes qui peuvent être structurés sous forme d'une classification ou suivant des relations de composition ou d'association issues du langage naturel (Bechhofer et al. 2001). Daconta (Daconta et al. 2003) précise que la taxinomie peut contenir des explications ; des synonymes, homonymes et antonymes. La taxinomie est souvent utilisée pour présenter un modèle de données sous forme de hiérarchie de termes pouvant être utilisés comme une première base sémantique pour visualiser un domaine de connaissances. Baker dans (Baker et al. 2013) présente une méthodologie pour concevoir des thésaurus à partir du langage RDF qui puissent être interprétables par des systèmes de gestion des connaissances. Le langage RDF facilite donc la mise en relation des données et leurs associations. Je détaillerai dans les sections suivantes l'apport du langage RDF dans mes approches de gestion des connaissances.

1.3 Troisième niveau : Modèles Conceptuels et les schémas RDFS

Les modèles conceptuels représentent des concepts (entités) et leurs relations. Les relations peuvent être de tout ordre et ne se limitent plus à celles issues du langage naturel comme dans les taxinomies. Les travaux en gestion des connaissances sur la réalisation de modèles conceptuels ont pour objectifs de spécifier les termes et les concepts utilisés par les experts d'un domaine et de définir les relations qui lient ces concepts. Le Web Sémantique permet de spécifier des concepts et leurs relations grâce au schéma RDF (RDFs). En effet ce langage facilite la spécification de classes et leurs relations en s'appuyant sur la description

⁹ <http://unicode.org/>

des données au format RDF. RDFs fournit donc une syntaxe simple pour inférer sur les ressources du Web.

1.4 Quatrieme niveau : Ontologie et langage OWL

Le Web Sémantique fournit une série de langages pour modéliser et représenter les données issues des ressources Web et les rendre compréhensibles par les applications informatiques. La modélisation des données avec une structure conforme aux standards du Web Sémantique permet aux applications d'interpréter les contenus des ressources Web à partir de leurs caractéristiques sémantiques (Akerkard 2009). Les modèles conceptuels présentés précédemment permettent de spécifier ces caractéristiques sémantiques. Sowa (Sowa 1984) et Gruber (Gruber 1993) définissent une ontologie comme une spécification explicite d'une conceptualisation partagée réalisée dans un contexte précis. Stellato (Stellato 2012) précise que le terme ontologie est souvent utilisé dans le cadre d'artefacts tels que les taxinomies, les thésaurus et les modèles conceptuels pour traduire des conceptualisations mettant en évidence des caractéristiques sémantiques de faibles à fortes.

L'ontologie est donc un modèle conceptuel prenant en compte le contexte et reconnu/partagé par un ensemble d'acteurs. L'adjectif partagé est important puisque c'est l'objectif premier d'un système de gestion des connaissances d'être en mesure de partager ses ressources. Le contexte est également très important pour l'ontologie puisqu'il conditionne sa réutilisation. En effet, on ne peut pas espérer que d'autres systèmes ou personnes comprennent ou interprètent notre conceptualisation si le contexte de l'ontologie n'est pas clairement explicité. Gandon (Gandon 2008) précise qu'une ontologie informatique permet, en particulier grâce aux travaux de l'intelligence artificielle symbolique sur les systèmes à base de connaissances et les moteurs d'inférence, d'implanter des mécanismes de raisonnement déductif, de classification automatique, de recherche d'informations, et d'assurer l'interopérabilité entre plusieurs systèmes de ce type.

Le contexte décrit dans l'ontologie définit le type d'ontologie. Il existe différentes formes d'ontologie. On peut tout de même catégoriser les ontologies suivant trois types de typologies ; les ontologies fondamentales basées sur le langage naturel, les ontologies spécifiques à un domaine et les ontologies spécifiques à une tâche ou un processus.

- Les ontologies fondamentales décrites par Meroo-Peuela (Meroo-Peuela et al.) ont pour objectif de fournir une conceptualisation basée sur la linguistique. On trouvera dans cette catégorie les ontologies SUMO (Suggested Upper Merged Ontology)¹⁰, DOLCE (Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering)¹¹ ou GOLD (General Ontology for Linguistic Description)¹². WordNet¹³ est un ensemble de ressources lexicales qui peut être également considéré comme une ontologie fondamentale.
- Les ontologies de domaine décrites par Fensel (Fensel 2004) ont pour objectif de décrire les connaissances d'un domaine spécifique. Fahad dans (Fahad et al. 2011) classifie les ontologies disponibles sur le Web au format du Web sémantique. On référence des ontologies dans de nombreux domaines tels que la Biologie avec

¹⁰ <http://ontology.teknowledge.com/>.

¹¹ <http://www.loa-cnr.it/dolce.html>.

¹² <http://linguistics-ontology.org/>

¹³ <http://wordnet.princeton.edu/>.

Protein Ontology (Sidhu et al. 2005), la médecine avec l'ontologie FMA (Foundational Model of Anatomy) (Ross et al. 2003) qui est composée de plus de 75 000 concepts relatifs au domaine de l'anatomie, la géologie (Zhong et al. 2009), etc.

- Le troisième type d'ontologie concerne des conceptualisations relatives aux exigences nécessaires à l'exécution d'une tâche particulière ou d'un ensemble de tâches. Ces ontologies sont centrées sur la résolution des problèmes liés à la tâche à réaliser.

Les ontologies peuvent être formalisées dans plusieurs langages. Je me suis intéressé uniquement aux langages du Web Sémantique qui ont démontré leurs efficacités ces dix dernières années. La majorité des entreprises ou organisations qui souhaitent développer un système de gestion des connaissances crée au minimum une taxonomie ou un thésaurus pour modéliser leurs connaissances (Grana et al. 2012). La construction d'une ontologie, sa mise à jour et son maintien demande de nombreux efforts. Et bien souvent, les ontologies construites dans une organisation ne sont pas réutilisables pour échanger d'autres connaissances dans une autre organisation. Comme je l'ai expliqué précédemment le contexte de l'ontologie est très important. Malgré ces contraintes, les outils du Web Sémantique apportent des réponses aux problèmes de standardisation des langages de partage des connaissances sans modifier la conceptualisation réalisée avec les experts métier. Le langage OWL (Web Ontology Language) a été conçu pour représenter des connaissances complexes et fournir plus de possibilités pour décrire les relations sémantiques entre les concepts et les schémas RDF (RDFs). OWL introduit de nombreuses relations complexes entre les concepts tels que la réciprocité, la synonymie, l'équivalence, etc. Par exemple nous pouvons modéliser le fait que « Davy travaille avec Eric » ce qui implique que « Eric travaille avec Davy ». On peut également exprimer le fait que deux concepts sont les mêmes. Par exemple on peut expliquer que « rédiger » et « écrire » ont le même sens dans un contexte donné avec la syntaxe « owl:sameAs ». Cette fonction est très pratique pour détecter des connaissances sur des actions telles que « Écrire le cahier des charges » et « rédiger le cahier des charges ». Un autre avantage est que OWL permet d'inférer facilement sur des raisonnements tels que « E est l'ancêtre de D » et « D est l'ancêtre de L » d'où L a pour ancêtre E.

1.5 Niveau cinq : Modèles logiques et système d'inférences

Les trois niveaux présentés précédemment ont pour objectif de décrire, annoter, structurer et représenter les connaissances à partir de leurs relations et propriétés sémantiques en utilisant les langages du Web Sémantique. Les trois niveaux suivants peuvent être gérés par les systèmes multi-agents. En effet les modèles logiques associés aux ontologies ont besoin de systèmes qui puissent assurer les mécanismes d'inférences pour exploiter les connaissances du Web.

1.6 Niveau six : Preuve & Confiance

L'une des problématiques du Web est la quantité croissante des données qui sont déposées à chaque instant. Les utilisateurs des connaissances issues de ces données demandent de plus en plus d'avoir une vérification de la fiabilité des sources d'informations d'où proviennent ces connaissances et également de leurs réputations. Nous souhaitons de plus en plus obtenir un niveau de confiance sur les connaissances que nous utilisons. Les travaux de recherche récents sur les systèmes multi-agents et la confiance (Sabater-Mir et al.

2013, Yaich et al. 2011, Koh et al. 2010) apportent de nouvelles perspectives pour aborder ces deux niveaux relatifs à la gestion des connaissances du Web.

2. Exploitation sémantique des connaissances issues du Web

Cette section présente ma contribution dans le domaine de l'exploitation des connaissances à l'aide d'approches sémantiques basées sur les différents niveaux du Web Sémantique.

2.1 Stockage des connaissances et annotations

Aujourd'hui la majorité des applications ou outils logiciels utilisés dans les entreprises génèrent des données et les stockent en utilisant les technologies du Web (pages Web HTML, XHTML, fichiers XML, SVG, etc.). Il est donc primordial de comprendre ces langages et de suivre les recommandations du W3C pour concevoir des systèmes qui puissent gérer les connaissances issues des données du Web.

Les langages du Web Sémantiques facilitent la description des connaissances du Web. La description des ressources du Web est spécifiée par le langage RDF (Ressource Description Framework) (Klyne et al. 2004, Shen et al. 2004). RDF permet de spécifier les types de relations entre deux ressources et en utilisant leurs URIs pour les identifier. RDF est un modèle de représentation des données et métadonnées du Web et est construit sous forme de triplets¹ créant des graphes de la façon suivante (Badr et al. 2010):

$$R \subseteq \underbrace{(U \cup B)}_{\text{Sujet}} \times \underbrace{U}_{\text{Prédicat}} \times \underbrace{(U \cup B \cup L)}_{\text{objet}}$$

R représente la déclaration de la ressource, U représente l'ensemble des adresses URIs (Uniform Resource Identifiers), B est l'ensemble des nœuds du graphe et L représente les valeurs littérales décrivant la ressource. Le triplet constitue une représentation d'une connaissance. Par exemple une connaissance concernant une ressource Web telle que « AgentsOnTheWeb.html a pour auteur Davy et a pour sujet les agents et le Web » est représentée par deux triplets (Figure 3.2) :

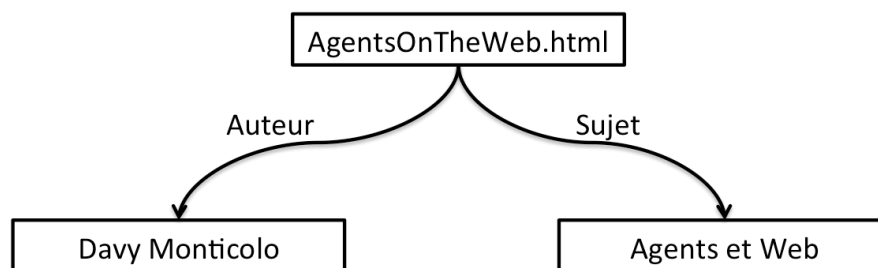


Figure 3.2 : Graphes RDF représentant la connaissance « AgentsOnTheWeb.html a pour auteur Davy et a pour sujet les agents et le Web »

- Le sujet ($U \cup B$) du premier et second triplet est <http://www.univ-lorraine.fr/AgentsOnTheWeb.html>
- Le prédicat (U) du premier triplet est <http://www.univ-lorraine.fr/Auteur>

- L'objet ($U \cup B \cup L$) du premier triplet est <http://www.univ-lorraine.fr/DavyMonticolo>
- Le prédicat du second triplet est <http://www.univ-lorraine.fr/Sujet>
- L'objet du second triplet est <http://www.univ-lorraine.fr/Agents> et Web

RDF peut ainsi être utilisé pour représenter des ressources Web complexes. La figure présente un extrait de la modélisation des produits de la marque de vélo Specialized réalisée par les étudiants de l'ENSGSI dans le cadre du cours d'ingénierie des connaissances. L'entreprise Specialized possède un site Web à l'adresse suivante : <http://www.specialized.com>. Le site est structuré en trois catégories, les vélos de triathlon, de route et les VTT. Les vélos de route sont décomposés en trois gammes, la gamme cyclo touriste appelée « Tarmac », la gamme compétition appelée « Venge » et la gamme endurance appelée « Amira ».

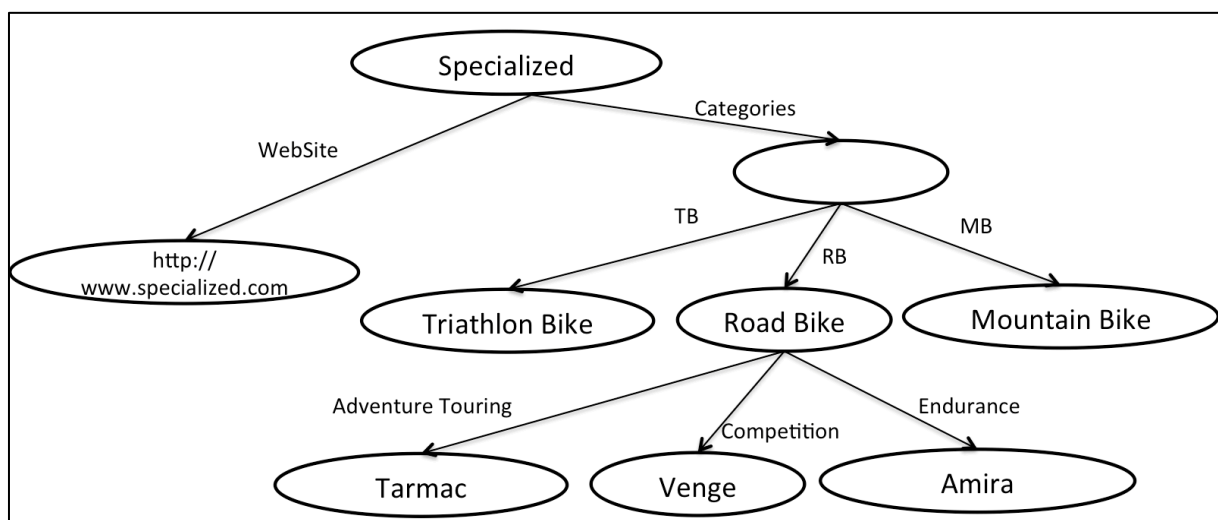


Figure 3.3 : Modélisation de la structuration des vélos « Specialized »

Le langage RDF s'écrit selon la syntaxe XML permettant ainsi de l'inclure dans le code HTML. Les triplets RDF sont alors intégrés au fichier HTML et deviennent donc compréhensibles par les systèmes de traitement de l'information pouvant lire le code et compréhensibles par les humains lors de la visualisation de la page Web. La figure 3.3 représente la syntaxe RDF correspondante à la modélisation de la structuration des vélos Spécialized. Tous les documents RDF commencent par l'URI de référence décrite par les lignes 1 à 4. La ligne 5 introduit l'URI de la ressource Web. La syntaxe « xmlns » évite de réécrire l'URI de la ressource pour chaque nœud du graphe. La ligne 6 identifie le nœud « specialized » avec la syntaxe `rdf:ID`. Les lignes 6 à 9 décrivent les triplets liés au nœud specialized. Les lignes 6 et 7 spécifient le triplet qui lie le nom Specialized à la ressource Web « <http://www.specialized.com> » comme un objet de la relation « WebSite ».

Le nœud vide permet de modéliser les catégories et de définir trois sous-catégories à l'aide de trois autres nœuds (Triathlon Bike, Road Bike, Mountain Bike). Les lignes 10 à 19 décrivent les triplets reliés au nœud vide (catégories de vélos). La ligne 20 clôture la description de la ressource Web.

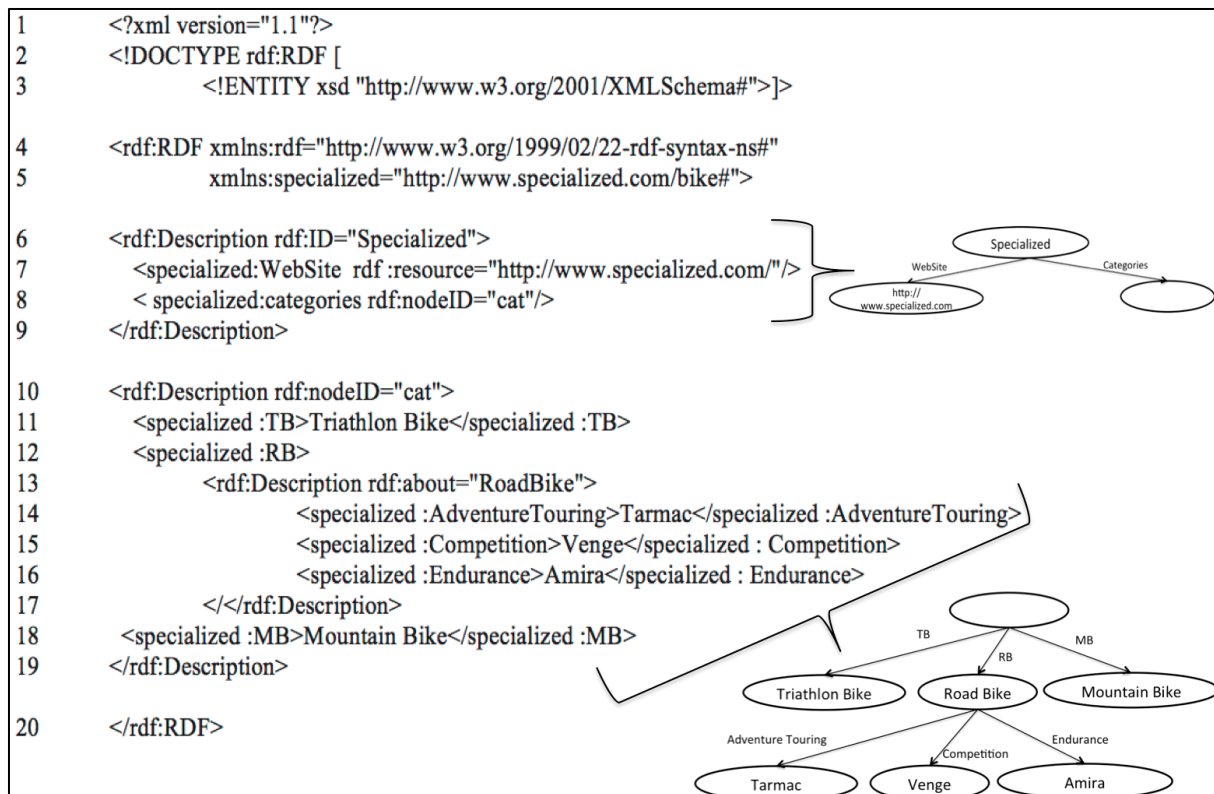


Figure 3.4 : Syntaxe RDF correspondant au stockage des informations sur la structuration des vélos « Specialized »

Dans les différents niveaux et langages du Web Sémantique, il existe le langage RDFS (Resource Description Framework Schema.). RDFS est une extension de la syntaxe RDF contenant un vocabulaire simple pour décrire un domaine de connaissances. Cependant RDFS ne permet pas de construire une ontologie de domaine à la différence du langage OWL. Nous nous intéressons donc à la construction d'ontologie à partir d'OWL.

2.2 Création d'ontologies à l'aide du Web Sémantique pour exploiter les connaissances du Web.

Ce chapitre a pour objectif de présenter mes travaux sur la représentation des connaissances en utilisant le Web Sémantique. Pour réaliser cette tâche, nous devons définir des ontologies pour spécifier la structure des connaissances et construire des bases de connaissances à l'image de la structure des ontologies afin d'exploiter les connaissances. Le langage RDF présenté dans la section précédente permet de réaliser la conception des bases de connaissances qui sont en fait une collection de fichiers RDF qui sont reliés par leurs URI. Dans cette section nous présentons la première partie du travail d'exploitation des connaissances c'est-à-dire la spécification d'ontologies. J'ai présenté en premier la construction des bases de connaissances dans le cadre du Web Sémantique puisque la spécification des ontologies se fait grâce au langage OWL qui nécessite la compréhension langage RDF.

Le langage OWL permet d'exprimer plus de situations que les schémas RDF pour décrire un monde de connaissances. Les principales différences sont les suivantes :

- Nous pouvons exprimer le fait que deux classes/concepts sont *disjointes*, par exemple un vélo et soit un vélo de triathlon, un vélo tout terrain ou un vélo de route, mais jamais les trois.
- Nous pouvons définir que deux connaissances ou ressources avec différentes URI appartiennent à la même classe. Par exemple la ressource « Specialized » avec l'URI « www.specialized.com/ » et la ressource « BH bikes » avec l'URI « www.bhbikes.com » sont issues de la même classe qui est « Marque de Vélo ».
- Nous pouvons spécifier que deux concepts ont des restrictions en terme de *cardinalités* sur les propriétés qui les lient. Par exemple un vélo est composé d'un seul cadre, ou un pédalier est composé d'au moins un plateau.
- Nous pouvons décrire qu'une propriété est *transitive*, par exemple si le plateau est relié à la chaîne et que la chaîne est reliée à la cassette alors la cassette est également reliée au plateau.

Afin de permettre la construction d'une ontologie en couvrant l'ensemble des caractéristiques sémantiques, le langage OWL n'est pas un simple langage, mais plutôt une famille de trois langages : OWL-Lite, OWL-DL et OWL-Full. Ces trois langages forment une suite qui permet d'exprimer des niveaux sémantiques plus forts si on utilise OWL-Full que OWL-DL ou OWL-DL plutôt que OWL-Lite. Ces niveaux sémantiques entre les différents langages sont relatifs aux différentes primitives qui les composent. Par observation sur nos différents projets, nous avons constaté que plus nous décrivons les connaissances en utilisant un nombre élevé de primitives du langage, plus il est difficile de raisonner sur ces connaissances. Nous avons donc utilisé majoritairement le langage OWL-Lite qui est suffisant pour spécifier des ontologies pour nos systèmes de gestion des connaissances.

Lorsque nous développons une ontologie en OWL, les instances de cette ontologie c'est-à-dire la base de connaissances sont un ensemble de fichiers RDF comme nous l'avons décrit dans la section précédente. OWL est structuré avec la notion de classe hiérarchique.

3. Notre approche de gestion des connaissances du Web : Agents et Web Sémantique

Gérer les connaissances sur le Web nécessite donc la conception d'applications intelligentes et d'agents logiciels qui puissent être en mesure de trouver, analyser les connaissances pertinentes et de les rendre accessibles à l'internaute.

Depuis plusieurs années nous essayons de combiner les approches sémantiques et ontologiques avec les systèmes multi-agents et d'autres plate-formes basées sur les Web Services.

Le Web Sémantique fournit ainsi un cadre incontournable pour faciliter la gestion des connaissances du Web pour les agents logiciels. En effet les langages standardisés du Web Sémantique ouvrent de nouvelles possibilités d'analyse, de recherche et d'exploitation des connaissances du Web pour les agents. Ces derniers n'ont plus besoin d'ontologies centralisées pour lire et exploiter les connaissances du Web puisqu'ils peuvent utiliser l'ensemble des ontologies distribuées sur la toile. Ces ontologies fournissent les descriptions des concepts et de leurs relations pour l'ensemble des milliers de domaines différents évoqués sur Internet.

Afin de pouvoir exploiter les bénéfices de la combinaison entre l'utilisation d'agents logiciels et les langages du Web Sémantique, il est nécessaire de pouvoir utiliser une technologie qui facilite l'interopérabilité entre les différents agents du Web. Dans la section suivante, je présente le système multi-agents OCEAN qui a pour objectif de gérer des connaissances hétérogènes et distribuées à l'aide d'une approche sémantique.

3.1 Extraction des connaissances et annotations sémantiques; le système OCEAN

3.1.1 Présentation

Nos recherches sur l'extraction des connaissances issues de différentes applications métier utilisées en entreprise nous ont conduit à concevoir un système multi-agents en mesure d'exploiter la puissance des langages du Web Sémantique, facilitant l'extraction et l'annotation sémantique des connaissances sous forme de ressources du Web. Le développement de ce système de gestion des connaissances s'inscrit dans le cadre des travaux de thèse d'Inaya Lahoud au sein du projet ADN (Alliance de Données Numériques) labélisé par le pôle de compétitivité Systém@tic-Paris et Véhicule du Futur-Alsace/Franche-Comté. Les partenaires industriels du projet sont PSA, Faurecia, EADS. Les partenaires industriels du projet ont des domaines métiers différents et souhaitent appliquer la même méthodologie pour la gestion des connaissances multisources.

Ce projet a permis la réalisation du prototype OCEAN (Ontology Creator, Extractor, & Annotator kNowledge). Basé sur les ontologies et sur un système multi-agents, OCEAN a pour but de résoudre le problème d'extraction des connaissances issues de différentes sources d'information et d'assurer leurs annotations et exploitations. Le système OCEAN repose sur un cycle de vie de trois étapes qui sont: la définition des connaissances, l'acquisition et la réutilisation. Ces trois étapes représentent les trois objectifs principaux du système:

- Permettre aux utilisateurs de décrire leurs connaissances du domaine à l'aide d'une approche sémantique (spécification des concepts et d'un vocabulaire et une sémantique pour définir leurs relations) ;
- Extraire les connaissances issues de sources d'informations hétérogènes et distribuées ;
- Diffuser, évaluer et mettre à jour la base de connaissances à l'aide des utilisateurs afin d'éviter de partager des informations erronées.

Ces trois objectifs sont implémentés en trois modules: "Knowledge Definition", "Knowledge Acquisition" and "Knowledge Definition". Le module définition des connaissances permet aux experts métiers de créer des ontologies du domaine. Le module d'acquisition transforme les ontologies du domaine créées en requêtes SQL en appliquant des règles de transformation. Les requêtes SQL sont ensuite exécutées pour extraire les informations des différentes bases de données utilisées dans les entreprises. Les données récupérées sont ensuite annotées et sauvegardées dans des fichiers RDF. Ces données deviennent de l'information à partir du moment où elles sont annotées avec le contexte d'où elles proviennent et qui les a créées. L'étape suivante consiste à diffuser les connaissances, les évaluer et les mettre à jour à travers un wiki sémantique.

Pour assurer l'ensemble de ces actions, le système de gestion des connaissances est conçu à l'aide de trois sociétés d'agents :

- Les agents « Ontologistes » (OA): Ils gèrent les différents modèles de connaissances (ontologies) construits par les experts métiers. Les ontologies créées sont des séries de concepts reliées par des relations sémantiques. L'interface proposée est proche de celle de Protégé 2000, mais possède en plus une représentation graphique des concepts.
- Les agents « Interprètes » (IA) : Ces agents transforment les ontologies en requêtes en appliquant des règles de transformations. Les données résultant du processus d'extraction sont alors annotées par l'agent IA en imposant le contexte spécifique (auteur, rôle de l'auteur, applications métier, etc.) dans lequel l'information a été extraite. Ce contexte sera utilisé dans les étapes de diffusion et d'exploitation des connaissances. Les informations annotées sont ensuite stockées dans des fichiers RDF.
- Les agents « Annonceurs » (AA) : Cette société d'agents a pour objectif de faire valider les bases de connaissances (fichiers RDF) par les acteurs métier à travers l'utilisation d'un wiki sémantique. Le wiki sémantique reprend la structuration des connaissances définie par l'ontologie à travers les concepts et leurs attributs. La navigation dans le wiki est construite à partir des liens sémantiques entre les concepts de l'ontologie. Le wiki permet également aux acteurs métiers de valider les informations proposées par les agents afin qu'elles soient considérées comme des connaissances. De plus, lors de la lecture d'une page wiki, chaque acteur peut accepter, rejeter ou modifier une connaissance. Si les connaissances sont rejetées par la majorité des acteurs, elles sont détruites par les agents AA qui mettent à jour la base de connaissances.

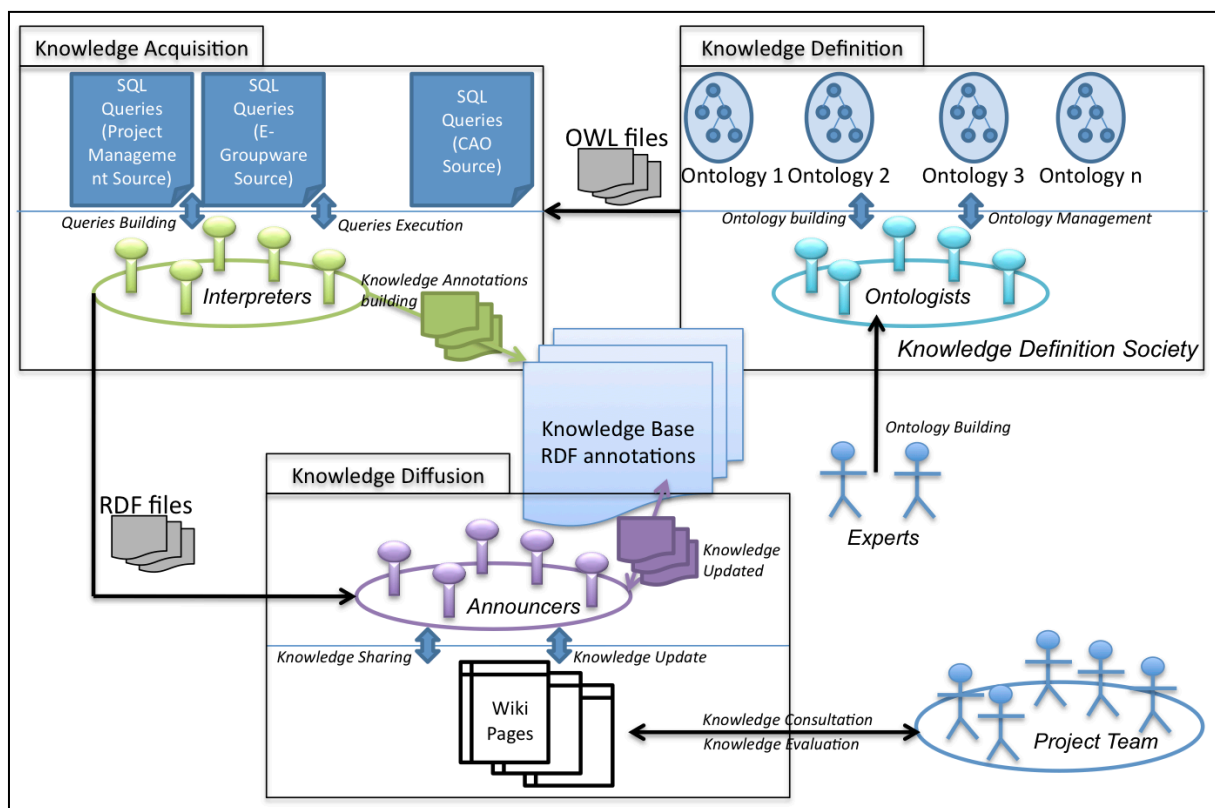


Figure 3.5 : Gestion des connaissances du Web à l'aide du Web Sémantique et des agents

La figure ci-dessus présente les trois modules (Knowledge Definition, Knowledge Acquisition et Knowledge Diffusion) sociétés d'agents, les Ontologistes, les Interpréteurs et

les Annonceurs ainsi que leurs interactions avec les acteurs métier lors de la création des ontologies ou de la consultation des connaissances à travers le Wiki Sémantique.

3.1.2 Faciliter la construction des ontologies adaptées aux sources d'information à l'aide des agents Ontologistes

De nombreux travaux de recherche ont pour objectif de faciliter la création des ontologies. Dans le cadre du projet ADN, les partenaires industriels souhaitaient un système en mesure d'apporter une assistance à la création d'ontologie et qui s'assure que les ontologies créées soient conformes à la structure des bases de données ou bases de fichiers représentant les sources d'informations des entreprises. Ainsi la problématique de ce module de définition des connaissances était non seulement de permettre aux experts des entreprises de formaliser des concepts et leurs relations, mais également de s'assurer que les concepts formalisés soit sémantiquement proches des concepts utilisés dans les sources d'informations de l'entreprise. Je décris dans la suite de cette section les mécanismes utilisés par les agents Ontologistes pour animer le module de Knowledge Definition.

Chaque agent d'OCEAN possède un ou plusieurs rôles c'est-à-dire une abstraction d'un ou plusieurs comportements (Ferber et al. 1998) qui induit une série d'actions que l'agent déploie dans des situations de résolution collaborative de problèmes. L'intelligence de l'agent est relative à sa capacité à choisir le rôle approprié à la situation dans laquelle il se trouve.

Nous définissons l'identité de l'agent par le nom de sa société (c'est-à-dire son type) ; ses rôles, ses interactions, ses interfaces et ses objectifs. Le tableau 3.1 présente l'identité des agents ontologistes :

Société	Ontologistes (OA)
Rôle(s)	Créateur d'ontologie, Chercheur de similarité
Interactions	Agent Ontologistes, Experts Humains, Agents Interpréteurs, Ontologie WordNet
Objectifs	Créer une ontologie adaptée aux sources d'information de l'entreprise afin d'assurer une extraction des connaissances efficace.
Nombre	Il y a un agent Ontologiste par ontologie créée.
Interface	Ontology builder

Table 3.1: tableau d'identité des agents Ontologistes

Les agents Ontologistes ont pour mission d'aider les experts de l'entreprise à créer des ontologies adaptées en proposant des concepts sémantiquement proches des concepts utilisés dans les sources d'informations professionnelles. L'enrichissement sémantique facilite l'extraction des connaissances. La figure 3.6 présente le processus de création d'ontologies adaptées par les agents Ontologistes en cinq étapes :

- *Étape 1* : La construction d'une ontologie de domaine commence par l'attribution d'un nom. L'ontologie est donc ajoutée dans la base des ontologies. OCEAN permet de créer des ontologies en respectant le format OWL Lite préconisé par le consortium W3C. L'interface « Ontology Builder » présentée dans la figure 3.6 permet de créer des ontologies sous la forme d'un arbre de concepts en spécifiant leurs relations et de pouvoir ajouter une représentation graphique pour chaque concept. La création d'une ontologie déclenche la création d'un agent Ontologiste.

Dès sa création l'agent prend le rôle de « créateur d'ontologie » pour associer à chaque concept et relation une série de code OWL.

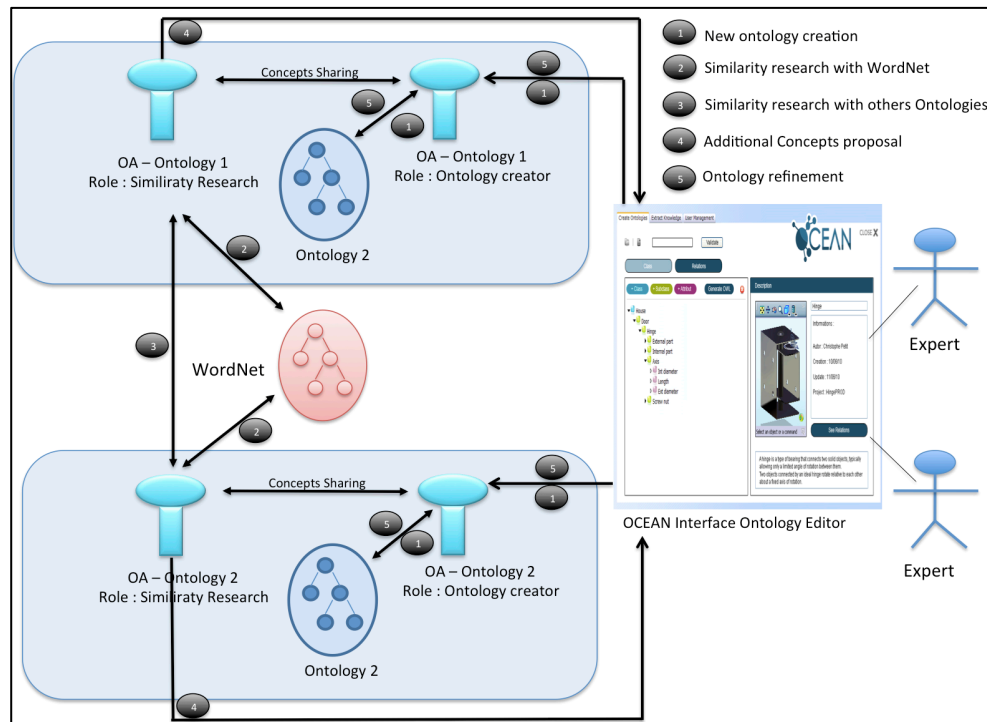
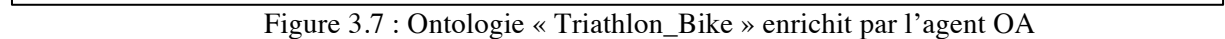


Figure 3.6 : Création des ontologies adaptées par les agents Ontologistes

- *Étape 2* : L'expert métier propose le premier concept « C1 ». En même temps l'agent OA prend le rôle de « Chercheur de similarité » et propose d'associer au concept C1 d'autres concepts sémantiquement proches. Pour ce faire, l'agent utilise l'ontologie WordNet (Morato et al. 2004). Cette dernière est composée de concepts issus du langage naturel auxquels sont associées leurs relations linguistiques. Les relations linguistiques sont la synonymie (des mots ayant la même signification), l'hyponymie (concept dont le sens inclut celui d'un ou de plusieurs autres, par exemple cycles est l'hyperonyme de vélo), l'hypomimie (par opposition à l'hyponyme, c'est un concept dont le sens est plus spécifique que celui d'un autre, par exemple vélo est l'hyponyme de cycles) et la méronymie (concept qui est une partie d'un autre concept, par exemple papier est le méronyme de livre). La figure 3.7 représente l'ontologie « Triathlon_Bike » créée par l'agent OA.
- *Étape 3* : L'agent OA dédié à la nouvelle ontologie communique avec tous les autres agents OA (dédiés à la gestion des autres ontologies) afin de vérifier qu'il existe ou non les mêmes concepts dans les autres ontologies. Lorsqu'un concept similaire a été détecté, tous les concepts en lien direct avec ce dernier sont stockés par l'OA en vu d'être proposé à l'expert métier.
- *Étape 4* : les concepts similaires collectés par l'agent OA et résultant de la recherche de similarité dans WordNet ou dans les autres ontologies d'OCEAN, sont ensuite proposés à l'expert. La figure 3.7 décrit une série de propositions émises par l'agent OA pour enrichir sémantiquement l'ontologie « Triathlon_Bike ».



Pour extraire ces connaissances, les agents IA transforment les ontologies fournies par les agents Ontologistes en requêtes SQL afin d'exécuter ces requêtes dans les différentes bases de données du logiciel. L'agent IA annote les données obtenues, qui est le résultat de l'exécution des requêtes. Les annotations permettent de transformer les données en information. En effet, nous reprenons la définition de Weggeman (Weggeman 1997) qui définit une information comme une donnée structurée pourvue d'un contexte.

Les agents Interpréteurs suivent un processus en trois étapes pour atteindre leur objectif (figure 3.8) :

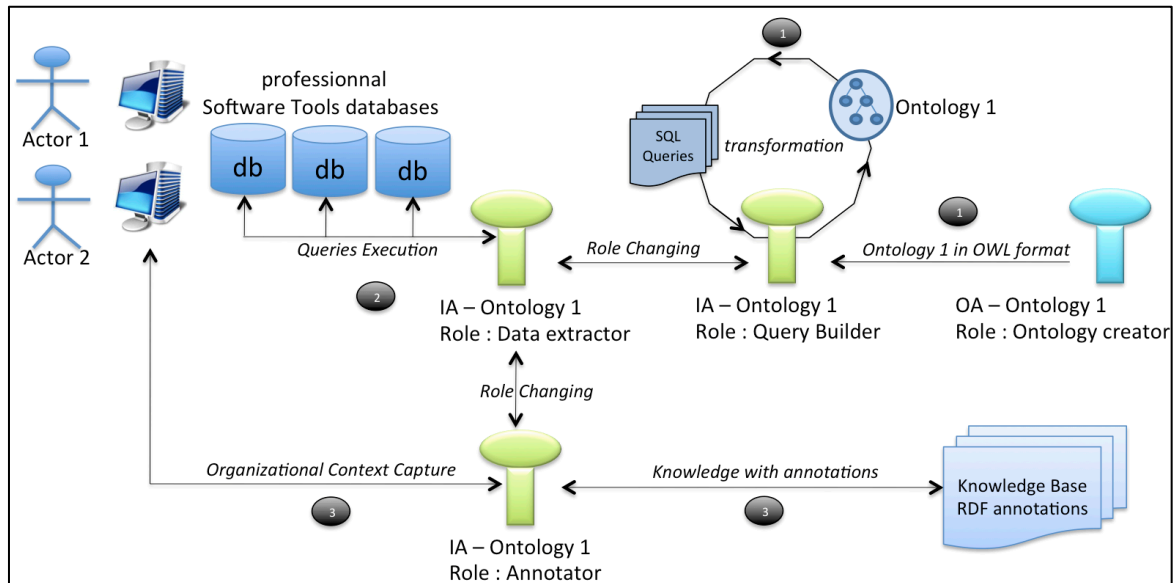


Figure 3.8 : Extraction des connaissances par les agents Interpréteurs

- **Étape 1 :** la première tâche de l'agent IA est de transformer l'ontologie auquel il est affecté en requêtes SQL. Ce mécanisme est basé sur une dizaine de règles de transformation permettant de transformer un concept de l'ontologie en une table de base de données et de convertir les relations sémantiques en relations entre les tables d'une base de données. Pour réaliser ce travail, l'agent IA prend le rôle de « créateur de requêtes ».

La transformation entre les modèles est un axe de recherche utilisé dans plusieurs domaines tels que la biologie (Dhombres et al., 2012)(Leclercq et al., 2012), les télécoms (Chiprianov, 2012)(Nascimento et al., 2012)(Jan et al., 2012), la pédagogie (Caron, 2007), etc.. Dans le domaine de la gestion des connaissances, ces approches ont déjà été utilisées pour construire une ontologie à partir d'une base de données relationnelle (Santoso et al., 2011)(Chen et al., 2012)(Trinkunas and Vasilecas, 2007), ou l'inverse (Souza et al., 2012)(Fabkam et al., 2009)(Astrova et al., 2007). Nous nous sommes inspirés de ces travaux pour réaliser la transformation d'une ontologie vers des requêtes SQL en créant nos propres règles. Le tableau 3.3 présente les correspondances entre les éléments décrivant les tables, leurs champs et relations d'une base de données et les éléments définissant les concepts et relations d'une ontologie au format OWL. À partir de ces correspondances, il est possible d'établir des règles de transformation pour passer d'une ontologie à un ensemble de requêtes SQL.

Élément de base de données	Concepts OWL
Table	Class
Column	Functional Property
Row	OWL individual
Column Metadata:	OWL property restriction:
Data Type	-AllValues From restriction
Mandatory/Not nullable	-Cardinality () Restriction
Nullable	-maxCardinality()
	Restriction

Tableau 3.3: Correspondance entre les éléments d'une base de données et d'une ontologie au format OWL

Élément définissant une propriété dans une base de données	Élément définissant des relations dans une ontologie
NOT NULL	owl:minCardinality rdf:datatype='&xsd:Int''1/
UNIQUE	owl:InversFunctionalProperty
CHECK	owl:hasValue
FOREIGN KEY	owl:objectProperty

Tableau 3.4: Correspondance entre les relations dans une base de données et les relations dans une ontologie

Une ontologie est composée de plusieurs concepts qui sont liés par des relations. Les concepts sont définis par un groupe de classes, de sous-classes et des propriétés. Chaque classe peut avoir 0 ou plusieurs propriétés qui peuvent contenir des conditions. De même, une base de données relationnelle est considérée comme la mise en œuvre d'un métamodèle d'une requête SQL. Ce modèle inclut des constructions pour spécifier le "select", "from", "where", "group by", "order by", "tables", "colonnes", et "conditions".

Le métamodèle d'une requête SQL est défini en utilisant la syntaxe de requête SQL suivante (Lans, 2006):

Select [distinct] {liste des colonnes}
From {tables}
[Where conditions]
[Group by {liste des colonnes} **[having** condition]]
[Order by {liste des colonnes} **[asc | desc]]**

Après avoir défini les métamodèles d'ontologie et de requête SQL, nous déterminons les règles de transformation de l'ontologie en requête SQL.

Cette transformation est assurée par l'agent « Interpréteur » ayant le rôle de « Créateur de requête ». L'agent « Interpréteur » récupère le contenu de l'ontologie fourni par l'agent Ontologiste (figure 3.8) et assure sa mission de transformer une ontologie en requête SQL, en appliquant les règles suivantes:

R1 le nom de l'ontologie devient le nom d'un projet ;

R2 Un concept de l'ontologie est une condition sur le nom d'un produit ou celui d'un élément de produit ;

R3 si une classe possède une ou plusieurs DatatypeProperty alors l'agent commence à construire les conditions ;

R4 Construction des conditions : L'agent Interpréteur analyse le "range" de chaque DatatypeProperty :

- Si l'attribut de l'ontologie est "positiveInteger" alors l'agent IA place la condition `check > 0` dans la requête SQL ;
- Si l'attribut est "DataRange" et comporte une liste d'items dans l'ontologie alors l'agent IA complète la condition par : *in [valueItem1, valueItem2 ...]* ;
- S'il existe une restriction sur une DatatypeProperty et que ce n'est pas une restriction de cardinalité alors cette restriction sera une condition dans SQL avec la syntaxe : **attribut = valeur** ;
- Les propriétés « Inverse functional property » de l'ontologie deviennent des contraintes "Distinct" dans la requête SQL;

R5 L'agent IA sauvegarde toutes les conditions construites dans les étapes précédentes ;

R6 L'agent IA crée une table qui s'appelle "Matching table" qui stocke toutes les tables, colonnes, base de données et les variables correspondantes ;

R7 L'agent recherche les clés primaires et secondaires des tables pour avoir les relations entre plusieurs tables construites à partir des noms de concepts de l'ontologie ;

R8 L'agent recherche dans la table "matching" les valeurs possibles des champs d'une table pour compléter la condition de la requête ;

R9 L'agent IA finalise la construction de la requête :

- **Select** toutes les colonnes présentes dans la liste Z précédée par la première lettre de sa table, ex.: p.nom, et séparé par des virgules
- **From** toutes les tables sauvegardées dans la liste Y suivi par la première lettre de la table comme un renommage de la table
- **Where** toutes les relations entre les tables sauvegardées dans la liste des relations et toutes les conditions dans la liste X. les conditions et les relations sont séparées par des « and ».

R10 L'agent IA répète ces règles pour chaque concept de l'ontologie qui possède des DataTypeProperties (cf. tableau 3.2). L'agent ajoute l'élément « UNION » à la fin de chaque requête pour obtenir une seule série de résultats lors de l'exécution de la requête.

Pour illustrer les règles utilisées par les agents et citées ci-dessus, nous présentons un exemple qui repose sur une ontologie créée par un expert métier dans le domaine d'ameublement et qui concerne la conception de fauteuils de bureau de modèle « Havanne » (figure 3.9).

L'expert métier peut créer son ontologie en spécifiant des concepts généraux ou même des instances pour chaque concept de l'ontologie. Les instances sont dans ce cas considérées comme des conditions. Dans l'exemple ci-dessous, l'expert métier a défini une ontologie pour décrire le fauteuil « Havanne » avec pour propriétés : la marque, la gamme des fauteuils de bureau, le mécanisme du fauteuil, le

garnissage, la densité, la hauteur et la largeur de l'assise. Il a également indiqué que les fauteuils « Havanne » sont modulables. Cette condition est spécifiée par l'instance « fonction modulable ». Nous observons également que l'expert précise que pour ce concept, la matière de la structure utilisée est le cuir.

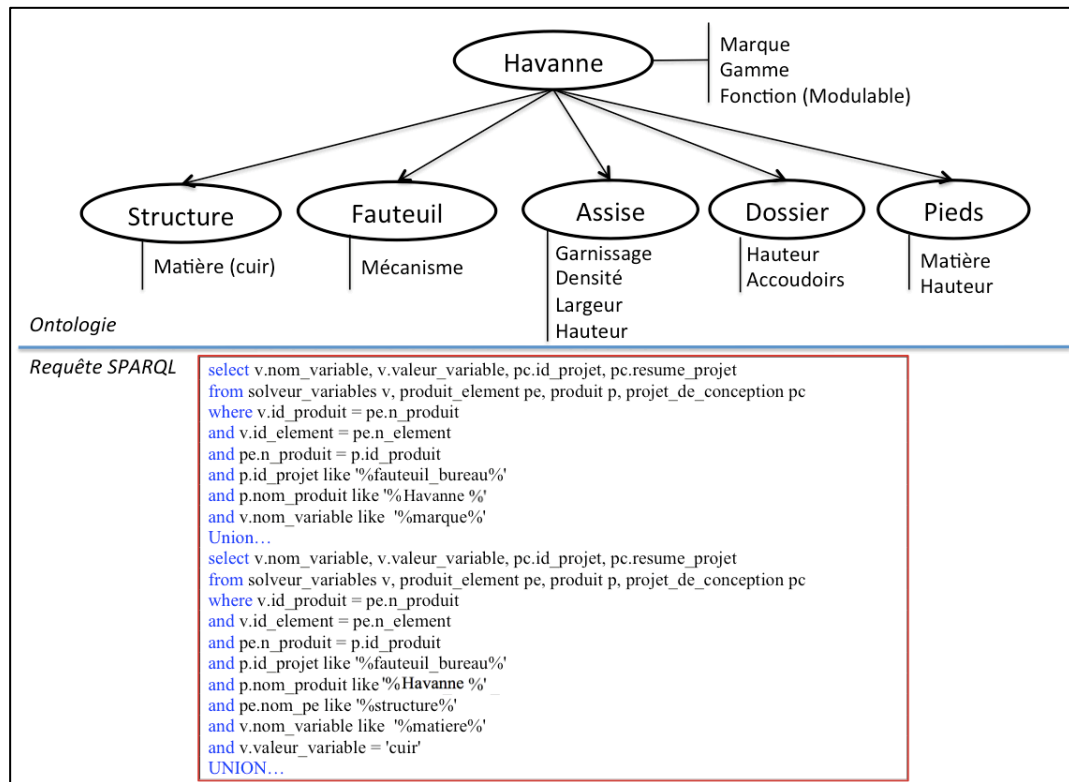


Figure 3.9: Exemple de requête générée par l'agent IA

Les concepts de cette ontologie sont reliés par des relations de type : 'est composé de', 'est relié à', 'possède', etc.

Les éléments constituant cette ontologie sont transformés en une requête SQL en appliquant les règles présentées précédemment. Le résultat de la transformation est une requête composée de plusieurs sous requêtes reliées par l'opérateur « union ». Dans cet exemple l'agent IA souhaite récupérer toutes les informations (mécanisme, garnissage, densité, largeur, etc.) relatives à des fauteuils de type « Havanne ».

- **Étape 2:** L'agent IA prend le rôle d' « Extracteur de connaissances ». Cet agent utilise des web services pour se connecter aux bases de données de différents logiciels utilisés en entreprise. Il peut ainsi exécuter les requêtes qu'il a construites à partir des transformations des ontologies. Les résultats obtenus sont ensuite formatés en fichier RDF. Ces fichiers sont organisés en respectant la structure des ontologies c'est-à-dire que chaque balise est relative à un concept de l'ontologie ou une de ses relations. Ainsi le RDF intègre la structure de l'ontologie ainsi que les valeurs des connaissances.
- **Étape 3:** Après avoir terminé son travail d'exécution des requêtes, l'agent IA endosse le rôle d' « Annotateur d'information » et annote chaque résultat obtenu à la suite de l'exécution des requêtes. Les annotations concernent le contexte

organisationnel dans lequel la connaissance a été créée c'est-à-dire le nom du projet, du produit, du logiciel où elle était stockée, le nom et rôle du créateur. L'agent IA construit donc un fichier RDF composé de deux sections : le contexte et la connaissance. La figure 3.10 présente les résultats issus de la requête présentée en figure 3.9 et exécutée sur l'outil logiciel PLM (Product Lifecycle Management). La figure 3.10 présente un extrait de l'annotation des résultats de la requête précédente concernant un fauteuil 'Havanne'. On observe que l'agent IA construit son annotation en fonction de la structure de l'ontologie 'Fauteuil'.

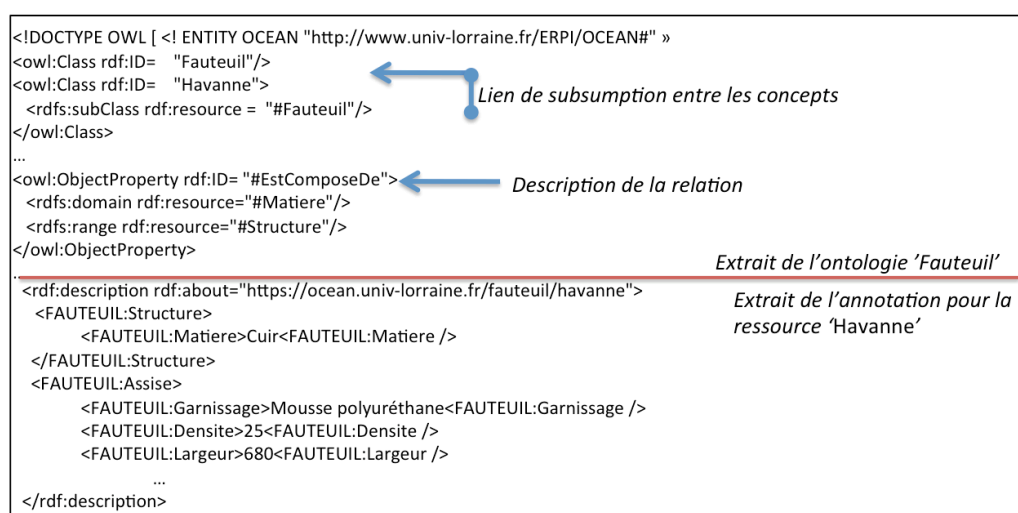


Figure 3.10: Extrait de l'annotation réalisée par l'agent

3.1.4 Diffuser la connaissance à l'aide des agents « Annonceurs »

Nous présentons dans cette section le module de diffusion des connaissances du système OCEAN. Ce module est géré par les agents « Annonceur » (AA). L'objectif des agents AA est de permettre aux utilisateurs métiers de valider, partager, évaluer et actualiser les connaissances capturées par les agents Interpréteurs. Pour atteindre ces objectifs, les Annonceurs gèrent un wiki sémantique appelé Wiki-K. Le wiki sémantique facilite la diffusion des connaissances en publiant des articles sous forme de pages Web, de valider et de mettre à jour ces connaissances lorsque les utilisateurs ont consulté, enrichi ou désapprouvé le contenu des pages du Wiki. Les tâches principales des agents sont donc d'utiliser la structure des fichiers RDF pour mettre en page les connaissances sous la forme d'articles Wiki, de suivre les évolutions des articles faits par les acteurs métiers afin de mettre à jour la base de connaissances RDF. Le tableau 3.5 présente l'identité de ces agents annonceurs en charge de la diffusion des connaissances.

Société	Annonceurs (AA)
Rôle(s)	Créateur de pages Wiki, Chercheur de connaissances, Évaluateur de connaissances.
Interactions	Acteurs humains, Agents Interpréteurs
Objectifs	Valider, diffuser, évaluer, et mettre à jour les connaissances
Nombre	Il existe un agent AA pour chaque ontologie créée dans OCEAN
Interface	Interfaces du Wiki Sémantique

Tableau 3.5: tableau d'identité des agents annonceurs

L'objectif principal des agents Annonceurs est d'assurer le suivi de l'évolution des connaissances à travers leurs validations, leurs diffusions tout en interagissant avec les utilisateurs pour recueillir les résultats des évaluations faites par ces derniers. La figure 3.11 présente les six étapes utilisées par les agents Annonceurs pour atteindre leurs objectifs :

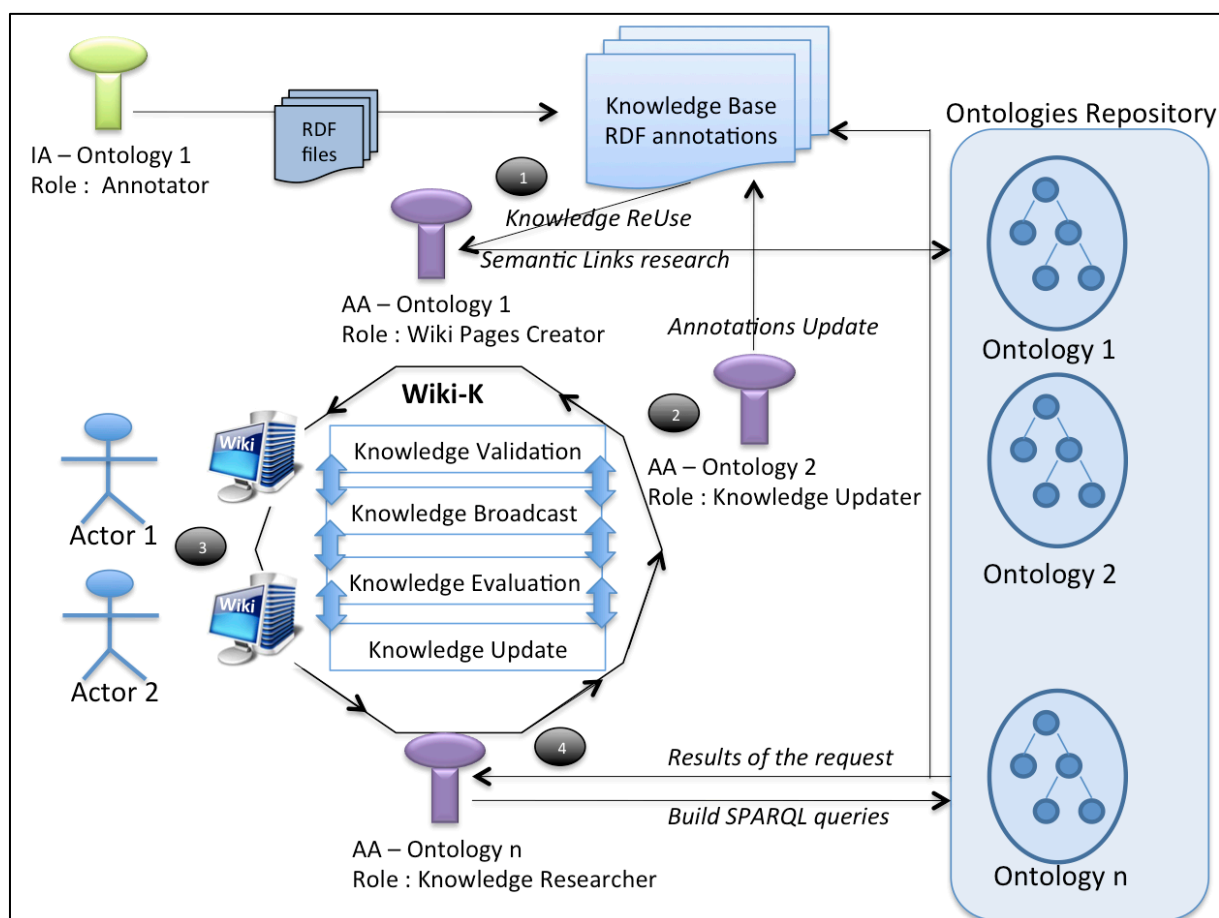


Figure 3.11 : Gestion de l'évolution des connaissances par les agents Annonceurs

- **Étape 1 :** L'agent AA a le rôle de « Créateur de page Wiki ». Il génère des pages Wiki à partir des informations extraites par les agents Interpréteurs et formatées dans les fichiers d'annotations RDF. Nous nous sommes basés sur les travaux de Jovanovic (Jovanovic et al. 2005) et Souzis (Souzis 2005) pour construire le processeur XSLT permettant la mise en pages des fichiers RDF en pages Web tout en gardant les liens sémantiques nécessaires à la navigation dans le wiki (figure 4).
- **Étape 2 :** Les acteurs métiers utilisent Wiki-K pour consulter les connaissances dont ils ont besoin dans leurs activités métiers. Après avoir lu un article Wiki, ils peuvent approuver, désapprouver, ou enrichir/compléter la connaissance présentée. L'agent Annonceur avec le rôle « Évaluateur de connaissances » collecte le résultat des différentes actions des utilisateurs. Si une page Wiki obtient une évaluation en dessous de 20% d'approbation, alors cette connaissance est supprimée de la base des connaissances par l'agent AA. L'approbation et l'enrichissement des connaissances dans les pages Wiki donnent des évaluations positives de la connaissance.

- **Étape 3** : Les acteurs métier recherchent une connaissance précise en utilisant le moteur de recherche du Wiki sémantique. Les agents Annonceurs prennent le rôle de « Chercheur de connaissances » et construisent la requête adaptée au mot clé envoyé par l'acteur métier. Les requêtes construites sont au format SPARQL afin de pouvoir interroger la base de connaissances composée d'une collection de fichiers RDF. L'utilisation des requêtes SPARQL est détaillée dans la section suivante.

La figure 3.12 présente une interface du Wiki sémantique Wiki-K. Dans cet exemple, l'agent Annonceur affiche le résultat d'une recherche sur un capuchon. Chaque connaissance présentée est affichée avec son type (vocabulaire, expérience, règle métier, processus métier), le contexte dans lequel elle a été extraite (nom du projet, domaine métier, date de création) et l'évaluation. L'évaluation d'une connaissance est affichée selon deux critères :

- La maturité affichée par des étoiles c'est-à-dire le nombre de fois que la connaissance a été consultée par les acteurs métier : cinq consultations apportent une étoile à une connaissance qui peut obtenir cinq étoiles maximum.
- L'approbation par les acteurs métiers. Cet indicateur est représenté par un pourcentage d'évaluations positives. Lorsqu'une connaissance est approuvée par l'acteur ou lorsqu'elle est enrichie, le degré d'approbation augmente.

L'utilisateur clique ensuite sur les mots clés (Hood, Hood Breaking, Hood Assembly) pour visualiser le détail de la connaissance sous la forme d'une page Wiki. Je détaillerai plus en détail les travaux sur le Wiki sémantique dans la section suivante.

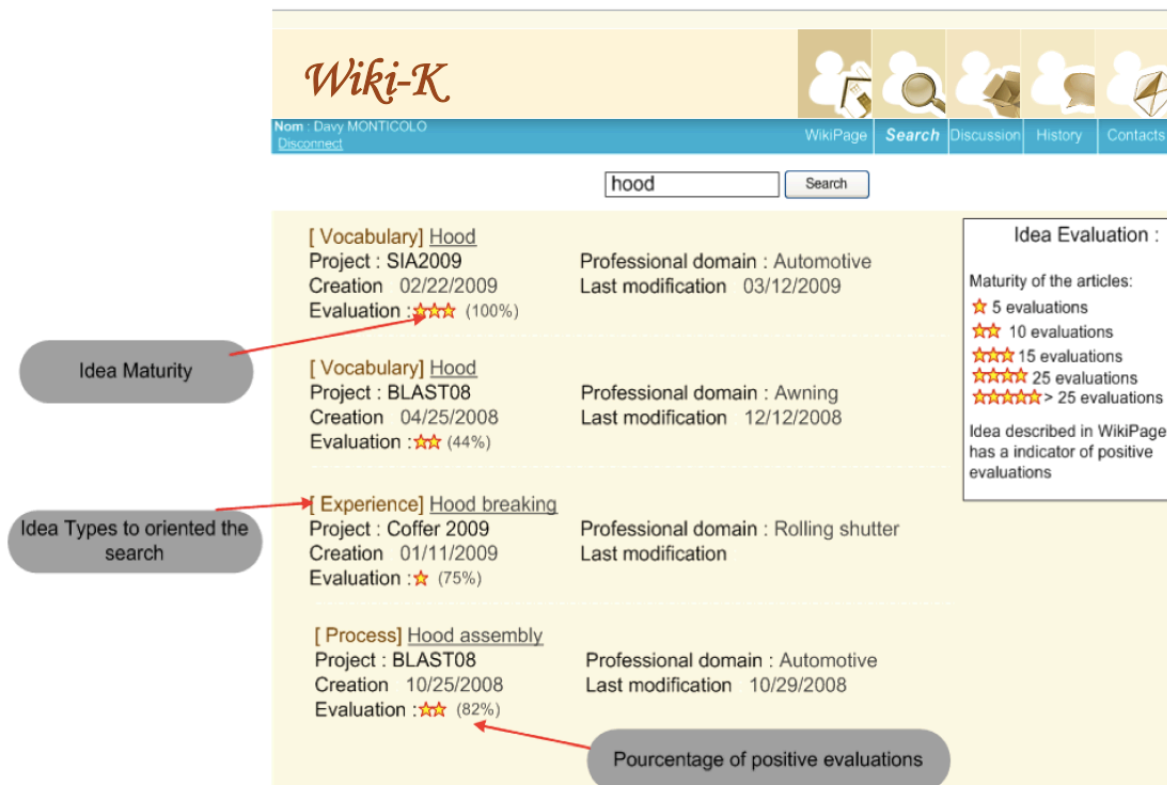


Figure 3.12 : Interface du Wiki sémantique

4. Diffusion et évaluation des connaissances à travers les Wiki Sémantiques

Le nombre de données présentes dans les entreprises et sur le Web est de plus en plus gigantesque. Par exemple la recherche d'une information sur Internet produit des milliers de résultats, souvent référencés dans des pages Web qui deviennent des connaissances intéressantes potentielles. En général la tâche de consultation de ces documents devient rapidement laborieuse. Même si le nombre de données potentiellement accessibles est énorme, les entreprises continuent à fournir beaucoup d'efforts pour préserver systématiquement des connaissances et expériences créées par leurs organisations impliquant de plus en plus de types de données complexes sous différents formats (fichiers textes, vidéos, fichiers audios, etc.). Les systèmes d'extraction des connaissances tels qu'OCEAN permettent de capturer une partie des informations de l'entreprise.

Cette section est centrée sur la diffusion, le partage et l'évaluation des connaissances capturées par les systèmes de capitalisation des connaissances. Les systèmes de diffusion doivent prendre en compte les avancées dans le domaine de la recherche d'information et en particulier sur les moteurs de recherche sémantiques afin d'être efficaces. Le système multi-agents OCEAN présenté précédemment utilise un Wiki sémantique (Lahoud et al. 2012) pour diffuser les connaissances. Les wikis sémantiques apportent des solutions pour partager, évaluer et faire évoluer les connaissances métiers (Monticolo et al. 2012), (Monticolo et al. 2011), (Monticolo et al. 2010).

Les Wikis sont des sites web permettant la création collaborative d'informations en assurant une navigation facilitée par l'utilisation de liens hypertextes. L'origine des Wikis est à attribuer à Ward Cunningham avec son concept de WikiWikiWeb en 1994 qui permet d'échanger des informations entre programmeurs. Leuf dans (Leuf et al. 2001) fut ensuite un des premiers à proposer un site où les internautes puissent créer, modifier, transformer et créer des liens entre des pages Web de manière très facile. Les Wikis devinrent populaires et indispensables pour échanger et collaborer à travers le Web. De nombreuses communautés en ligne utilisent à présent les Wikis dans des domaines tels que le domaine médical (Thompson et al. 2014), le domaine de l'éducation (Hadjerrouit 2014), (Teck et al. 2014), le domaine de la créativité (Kacem et al. 2012), (Howard et al. 2011), etc.

L'objectif de la plupart des Wikis (privés ou publiques) est d'organiser, collecter et partager de l'information. Pour rendre facile l'utilisation de ces wikis à travers leurs mises en pages et éditions, des syntaxes ont été conçues telles que les wikitext (Sing et al. 2007). Grâce à ses mises en pages intuitives, un Wiki devient un outil collaboratif puissant qui a pour fonctionnalités (Schaffert 2006) :

- De permettre une édition de contenu informationnel depuis un navigateur Web ;
- De permettre d'intégrer et mettre en page facilement des contenus de types texte, vidéo ou photo en utilisant des formats hypertextes utilisables pour tous les internautes ;
- De gérer un mécanisme capable d'assurer la gestion des versions des contenus déposés.
- D'assurer un contenu ouvert où tout le monde puisse ajouter des informations ou les faire évoluer.

- De gérer l'extension de chaque contenu, c'est-à-dire que tout le monde peut ajouter des informations à un contenu rédigé par d'autres personnes.
- De proposer la mise en relations entre les différentes informations déposées dans le Wiki à travers un puissant réseau de liens hypertextes.
- D'intégrer un moteur de recherche puissant permettant d'accéder rapidement aux informations stockées dans le Wiki.

L'ensemble de ses propriétés permet aux Wikis de devenir de nouveaux outils incontournables pour gérer les connaissances à travers le Web et les réseaux sociaux (Richards 2009). Plusieurs travaux témoignent de l'utilisation de Wikis dans le cadre de la gestion des connaissances. Par exemple, Shaffert (Shaffert 2006) et (Vrandecic 2006) mettent en évidence l'utilisation des ontologies dans les wiki pour structurer et représenter les connaissances. Begona (Begona et al. 2011), Kump (Kump et al. 2013) et Biasutti (Biasutti et al. 2012) utilisent le Wiki comme système supportant les premières phases d'un processus de gestion des connaissances c'est-à-dire l'identification, la capitalisation, la sauvegarde, la diffusion et la mise à jour des connaissances. D'autre part, Cowan (Cowan et al. 2011), Moskaliuk (Moskaliuk et al. 2012) soulignent l'efficacité des Wikis pour la création collaborative des connaissances centrées sur le retour d'expériences. Par ailleurs, Vaz (Vaz et al. 2014), Monticolo (Monticolo et al. 2011) et Zhao (Zhao et al. 2013) utilisent le Wiki pour évaluer la maturité des connaissances stockées.

Cependant la mise en place d'un processus de gestion des connaissances en utilisant un Wiki nécessite de maîtriser la manipulation des connaissances stockées à travers leurs organisations et structurations, mais également leurs recherches. Plusieurs analyses des Wikis traditionnels (Buffa 2006), (Majchrzac 2006), (Wang 2013) ont montré qu'ils ne sont pas suffisamment structurés, qu'il n'est pas aisé de naviguer d'un article à un autre lorsque seuls les utilisateurs ont spécifié leurs propres liens rendant ainsi la recherche d'informations difficiles. De plus, le langage d'indexation des pages wikis appelés WikiML (Wiki Markup Language) est perçu comme un frein à la contribution des internautes dans les Wikis.

Une solution face à ces problèmes est de considérer l'utilisation d'une sémantique pour construire des outils performants facilitant l'indexation, l'annotation, la recherche et la navigation entre les connaissances. Aumueller dans (Aumueller 2005) fut un des premiers à proposer d'intégrer les technologies du Web Sémantique afin de formaliser les informations, contenus, structures et liens dans les Wikis. Ces Wikis prenant en compte l'aspect sémantique dans leur gestion des contenus sont ainsi devenus des Wikis sémantiques. Les Wikis sémantiques ont pour objectif de combiner les systèmes Wikis traditionnels avec les technologies sémantiques (ontologies, moteur de recherche sémantique, relations sémantiques entre les liens, etc.).

Nous avons utilisé les Wikis sémantiques dans trois projets liés à la gestion des connaissances :

- WikiDesign (Monticolo et al. 2011) pour diffuser les connaissances structurées sous forme de mémoires de projets ;
- Wiki-K (Lahoud et al. 2012) pour valider, évaluer et faire évoluer les connaissances dans le système OCEAN ;
- Wiki-I (Monticolo et al. 2012) pour capitaliser et partager des connaissances sous forme de fiches idées issues de challenges de créativité.

Ces wikis sont structurés en fonction des modèles de connaissances c'est-à-dire des ontologies métiers utilisant le langage du web sémantique OWL-Lite. La section suivante présente l'architecture de ces Wiki sémantiques.

Je décris dans la section suivante le Wiki sémantique Wiki-Design destiné à partager des connaissances lors des processus de conception de produit.

4.1 Architecture du Wiki Sémantique

Nous avons utilisé les Wikis sémantiques dans plusieurs projets avec trois déclinaisons utilisant des architectures similaires pour Wiki-K, Wiki-I et WikiDesign. Dans cette section je présente l'architecture de WikiDesign. Ce Wiki sémantique a pour objectif de restituer des mémoires partagées (mémoires de projets) selon six types de connaissances : le contexte et l'évolution du projet, les processus, le vocabulaire et les règles métier utilisés dans le projet ainsi que l'expérience métier. Nous avons choisi une architecture de Wiki sémantique composée de trois niveaux (Figure 3.13) : Un niveau contenant le format de représentation des connaissances (Knowledge Persistant Layer), un niveau contenant la base de connaissances et les modules d'exploitation (knowledge base layer) et un module de gestion des pages Web Wiki (Web Layer). Je décris dans la section suivante les caractéristiques de chaque niveau.

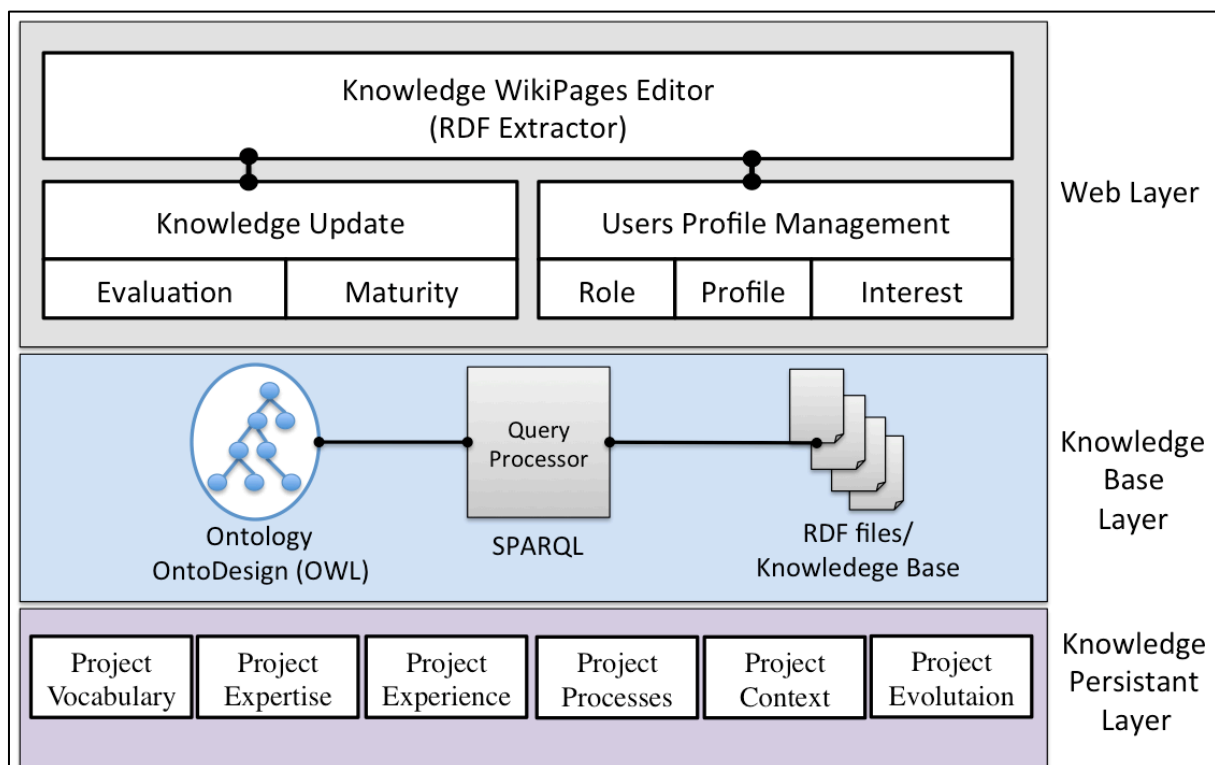


Figure 3.13 : Interface du Wiki sémantique

4.2 Le niveau représentation des connaissances

Chaque Wiki sémantique que nous avons créé a pour objectif de partager des connaissances dans différents domaines. Wiki-I permet d'échanger des connaissances sous forme de fiches idées, Wiki-K des connaissances sur les modèles liés aux produits (modèles

CAO, modèles de calculs, etc.) en entreprise et WikiDesign des connaissances relatives aux projets d'ingénierie. Pour chacun des Wikis le niveau de représentation des connaissances détermine le format et le type de connaissances qui seront présentés. Pour WikiDesign les connaissances sont présentées sous forme d'une mémoire de projet. J'ai utilisé le modèle de mémoire de projet MemoDesign (Monticolo et al. 2008) utilisé dans mes travaux de thèse. Le modèle est constitué de six types de connaissances :

- Le *contexte du projet* permettant de décrire les objectifs et la stratégie du projet ;
- L'*évolution du projet* décrivant la planification, les rencontres avec le client, les livrables et les éventuels retards lors de l'exécution des tâches du projet.
- L'*expérience* du projet décrivant les difficultés, les échecs et les réussites pour chaque tâche du projet ;
- L'*expertise* projet spécifiant les règles métier utilisées dans le projet ;
- Le *processus projet* présentant l'ensemble des processus utilisés dans le projet ;
- Le *vocabulaire projet* constituant un glossaire des termes utilisés lors du projet.

Chaque Wiki sémantique possède sa structure des connaissances que l'on souhaite diffuser. Cette structure permet à la fois d'orienter la mise en page des pages Wiki et de faciliter la recherche de connaissances dans le Wiki. La section présente ces mécanismes de recherche de connaissances.

4.3 Le niveau base de connaissance

Le niveau base de connaissances est composé d'une ontologie de son système d'exploitation qui est un générateur de requêtes et de la base de connaissances. Nous avons choisi d'utiliser les langages du Web sémantiques pour exploiter les connaissances. Ces dernières sont encapsulées dans des fichiers RDF. Le générateur de requêtes est construit avec le langage SPARQL et permet de rechercher les connaissances dans les fichiers RDF à l'aide de la structure de l'ontologie. Cette dernière est construite au format OWL Lite.

Les fonctionnalités du niveau base de connaissances sont :

- Rechercher les pages Wiki correspondant à une demande par mots clés. La recherche est réalisée pour un mot donné et retourne l'ensemble des pages contenant ce mot. De plus le moteur de recherche retournera également l'ensemble des pages contenant des mots liés sémantiquement au mot demandé. Par exemple le résultat de la recherche des connaissances concernant le mot clé « guidon » associera les pages wiki contenant le mot « cintre » qui est un synonyme de guidon dans le domaine métier des cycles.
- Rechercher les types de connaissances associées à un terme. Cette fonction est active dans les pages de WikiDesign et permet de visualiser les types de connaissances (processus projet, évolution projet, expérience projet, expertise projet, contexte projet et vocabulaire projet) liées à certains mots des pages Wiki.
- Augmenter la pertinence de la navigation entre les pages du Wiki en associant des liens sémantiques. Ces liens sémantiques sont déterminés par les relations entre les concepts de l'ontologie. Je présente les mécanismes de création de requêtes SPARQL dans la section suivante.

4.4 La recherche par mot clé à l'aide de SPARQL

La recherche par mots clés peut être faite sur toute la base de connaissances ou en recherche avancée sur les différents types de connaissances. Le tableau 8.2 présente les critères de recherche actuellement possibles pour la recherche avancée de connaissances selon les six différents types. Les agents appliquent ensuite le protocole de recherches des connaissances qui est composé des quatre premières étapes du protocole de validation des connaissances détaillées en section 3.2. Celui-ci permet de proposer une ou des réponses aux requêtes postées par les acteurs métiers.

L'interface de recherche avancée du wiki oriente la recherche de l'acteur métier en proposant les concepts et attributs correspondants aux connaissances et spécifiés dans l'ontologie OntoDesign.

<i>Type de connaissance</i>	<i>Critères pour la recherche de connaissances</i>
Processus Projet	- Un mot du label de l'actigramme
Expertise Projet	- Nom du produit associé à la règle - Nom du procédé associé à la règle - Un mot dans la Règle littérale - Un mot dans la Règle formule - Ensemble des conseils - Ensemble des contraintes - Ensemble des choix
Vocabulaire Projet	- Nom du terme - Domaine métier - Ensemble des représentations graphiques
Expérience Projet	- Nom de projet - Un mot dans le label du succès - Un mot dans le label de la difficulté - Un mot dans le label de l'échec - Un mot dans le label de la cause du projet - Un mot dans le label de la conséquence du projet
Contexte Projet	- Un mot dans le label du facteur technique - Une valeur pour le coût du produit - Un type d'origine pour le projet (innovation...) - Un mot dans le label des méthodes d'ingénierie - Un mot dans le label des brevets - Un mot dans le label des normes - La liste des concepts du projet - La liste des éléments du produit
Évolution Projet	- Un mot dans le label de l'activité

Tableau 3.7 : Critères de recherche disponible pour chaque type de connaissances

Les annotations RDF contiennent une série de triplets. Chaque triplet représente une séquence de la forme Sujet/Predicat/Objet. Depuis plusieurs années, des langages ont été développés pour interroger des séquences RDF tels que TRIPLE (Sintek 2001), RQL (Karvounarakis et al. 02), SeRQL [Broekstra 04], RDQL (Seaborne 2004) et SPARQL (Seaborne et al. 2006). Nous utilisons SPARQL, langage permettant d'appliquer des requêtes sur des triplets RDF, recommandé par le W3C. SPARQL est un des langages de requêtes du Web sémantique adapté à l'exploitation des graphes RDF. C'est également un langage qui permet de représenter les résultats d'une requête (Beckett et al. 2008) et un protocole pour soumettre une requête à un serveur Web distant (Clark et al. 2008).

SPARQL possède une syntaxe ressemblant au langage SQL puisqu'il est composé d'éléments tels que « SELECT », « WHERE ». Il utilise également d'autres termes complètement différents tels que « OPTIONAL », « FILTER », etc.

Étant donné qu'un fichier RDF est un ensemble de triplets contenant des valeurs sous forme de sujet, prédicat et objet, SPARQL permet de lire dans les graphes composés de triplets afin de trouver une ou un ensemble de valeurs.

Afin de présenter les mécanismes de recherche par mots clés fondés sur la construction de requêtes SPARQL, je décris une partie de la structure de la base de connaissances (Tableau 3.8) qui est contenue dans la collection de fichiers RDF.

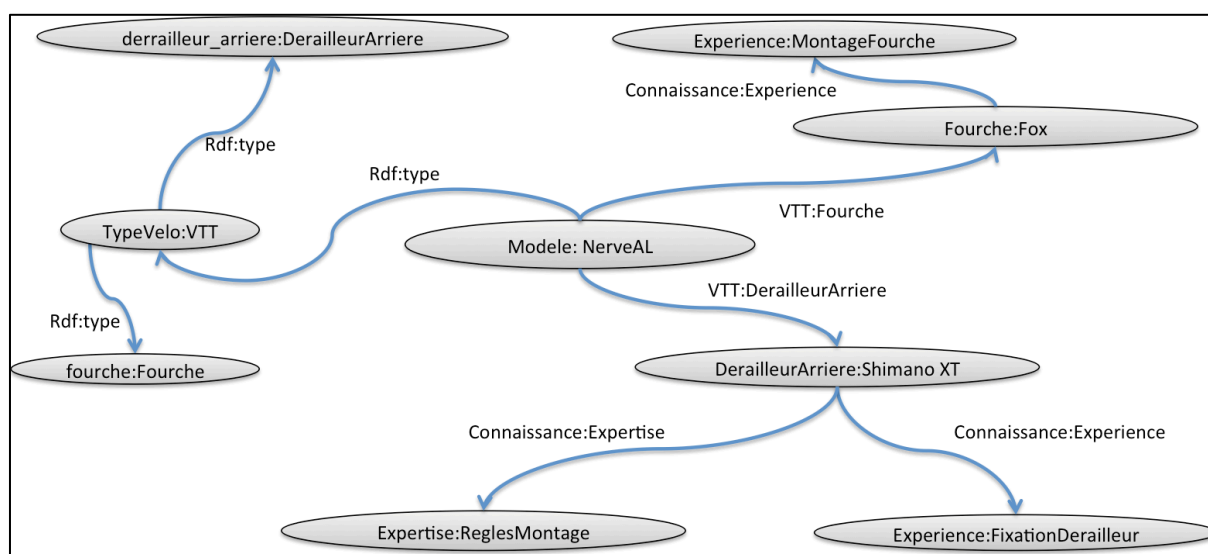


Figure 3.14 : Extraits des graphes RDF composant la base de connaissance

@prefix xsd: <http://www.w3.org/2014/XMLSchema#>		
@prefix VTT: <http://www.ontodesign.org/VTT#>		
@prefix Connaissance: <http://www.ontodesign.org/Connaissance#>		
@prefix entreprise: <http://www.ontodesign.org/entreprise#>		
Modele:NerveAL	VTT:Fourche	Fourche:Fox
Modele:NerveAL	VTT :DeraillieurArriere	DeraillieurArriere:ShimanoXT
DeraillieurArriere:ShimanoXT	Connaissance:Expertise	Expertise:ReglesMontage
DeraillieurArriere:ShimanoXT	Connaissance:Experience	Experience:FixationDeraillieur

Tableau 3.8: Extrait de la base de connaissances

La requête SPARQL fait appel à l'ensemble des éléments du triplet RDF. Chaque position dans le triplet peut être définie par une variable ou un élément du langage RDF tels qu'une URI RDF, une chaîne de caractère ou un nœud blanc. La référence à un URI est comprise entre les caractères <> pour les distinguer des chaînes de caractères et les variables sont précédées par le caractère « ? ».

Cas n° R1 : L'acteur métier recherche toutes les pages wiki décrivant les composants d'un produit, par exemple le VTT « NerveAL » (figure 3.14).

La requête construite et présentée figure 3.14 est composée d'une partie PREFIX qui détermine l'espace de nom où sont stockées les données. La partie SELECT permet d'identifier les connaissances recherchées. La clause « Where » détermine les graphes RDF interrogés où seraient éventuellement stockées les connaissances. Dans le cas de la requête R1 nous avons utilisé une sous-requête imbriquée. Nous recherchons d'abord le type vélo

(variable TypeVelo) correspondant au modèle « NerveAL » puis nous recherchons pour ce type de vélo, les composants utilisés. Le mot clé FILTER permet de filtrer les résultats en fonction des résultats de la sous-requête imbriquée.

Les résultats de la requête correspondante au cas R1 sont obtenus en interrogeant la base de connaissances présentée à la figure 3.14. Nous obtenons dans ce cas une série de connaissances concernant deux composants pour le vélo NerveAL, le dérailleur arrière et la fourche.

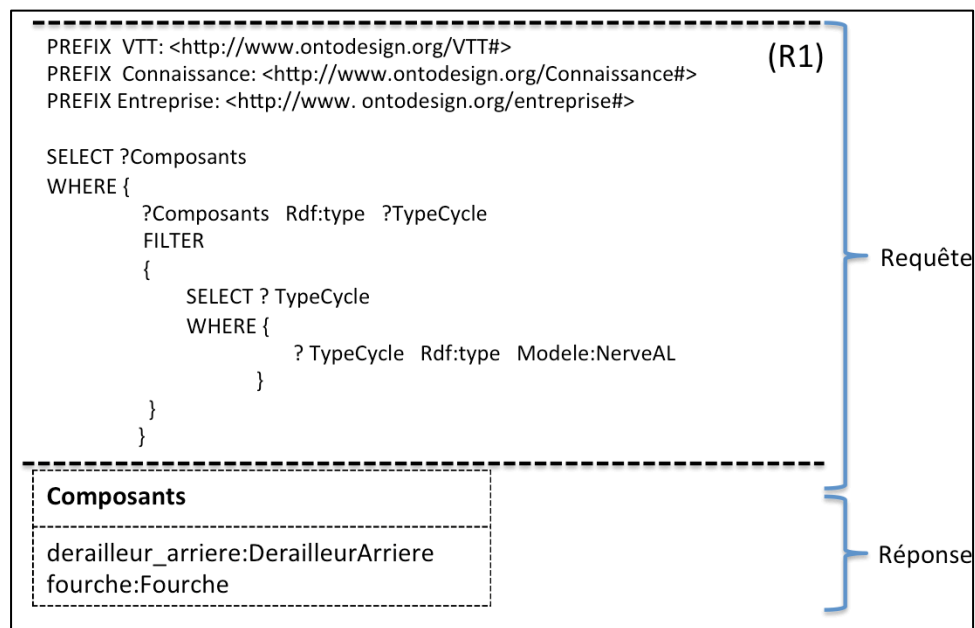


Figure 3.15 : Requête R1

Cas n° R2 : L'acteur métier effectue une recherche avancée qui lui permet d'identifier certaines connaissances liées à un nom de produit ou sur un projet global selon les critères définis dans le tableau 7. Par exemple l'acteur métier souhaite connaître toutes les expériences liées au modèle vélo « Nerve AL ».

La requête construite figure 3.16 interroge l'ensemble des triplets du graphe présenté en figure 3.14 en utilisant le préfixe correspondant. On recherche donc ici l'ensemble des relations « Connaissance :Experience » sur tout le graphe concernant le modèle « NerveAL ». La relation recherchée est mentionnée dans l'appel du préfixe de la clause « Where ». OPTIONAL permet d'afficher les sujets RDF non vides dans les résultats. Nous insérons une variable « Produit » pour afficher tous les produits liés aux expériences trouvées.

PREFIX VTT: <http://www.ontodesign.org/VTT#> PREFIX Connaissance: <http://www.ontodesign.org/Connaissance#> PREFIX Entreprise: <http://www.ontodesign.org/entreprise#>	
SELECT ?Experience WHERE { OPTIONAL { ? Experience <http://www.ontodesign.org/VTT#Connaissance:Experience> ?Produit } }	
(R2)	
Experience	Produit
Experience:MontageFourche	Fourche:Fox
Experience:FixationDeraillleur	DeraillleurArriere:ShimanoXT

Figure 3.16 : Requête R2

La requête dans notre exemple retourne deux fiches expériences ; une sur le montage d'une fourche Fox et une seconde sur la fixation d'un dérailleur ShimanoXT.

4.5 Recherche et affichage des types de connaissances pour certains mots

Lors de la navigation dans le wiki sémantique, l'utilisateur peut utiliser le clic droit de sa souris sur un mot pour développer un menu d'affichage des connaissances liées à un terme. La figure 3.17 présente l'interface de WikiDesign avec le menu « Connaissances ». Dans les pages de WikiDesign les mots bénéficiant d'un menu « Connaissances » sont notifiés en couleur bleue.

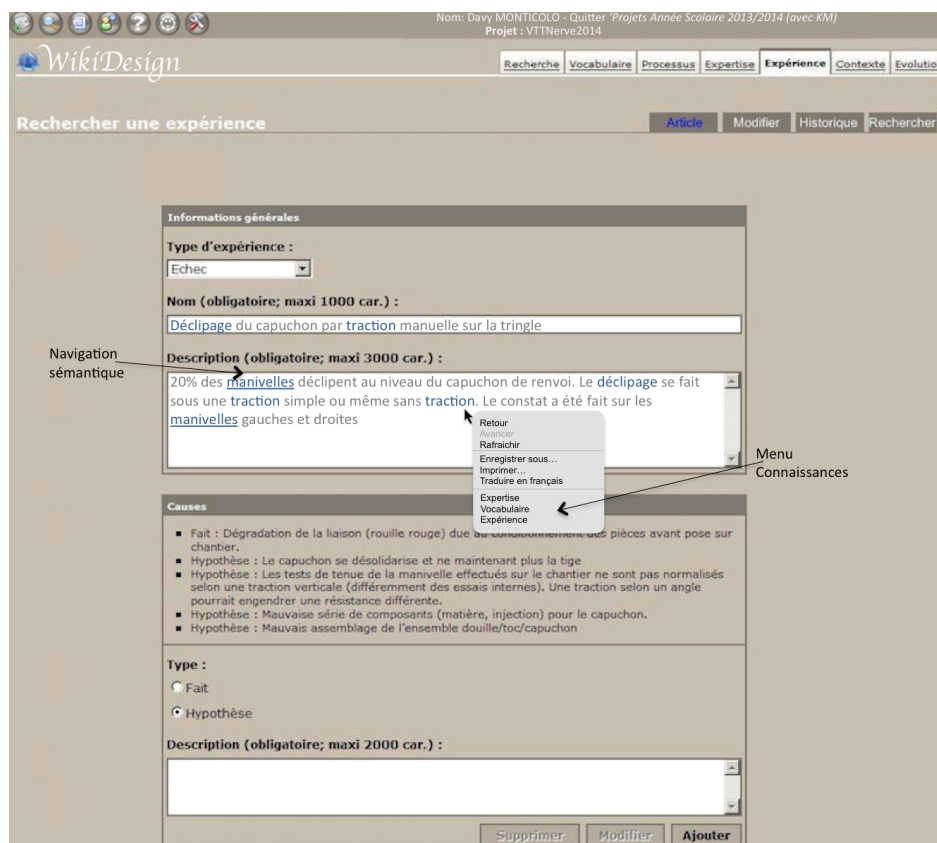


Figure 3.17 : Interface de WikiDesign avec la navigation sémantique et le menu 'Connaissances'

Dans l'exemple ci-dessus (Figure 3.17), l'acteur recherche s'il existe une ou plusieurs connaissances de type *ExpérienceProjet*, *EvolutionProjet*, *ContexteProjet*, *ExpertiseProjet*, *VocabulaireProjet* et *ProcessProjet* pour le dérailleur arrière « ShimanoXT ».

Pour la requête R3, nous recherchons les six triplets correspondants aux six connaissances liés au sujet « ShimanoXT ». Les résultats obtenus à partir de l'extrait de l'ontologie (figure 3.15) sont deux fiches connaissances ; une de type « Expertise » et une de type « Experience » et ont pour intitulés « RegleMontage » et « FixationDeraillleur ».

PREFIX VTT: <http://www.ontodesign.org/VTT#> PREFIX Connaissance: <http://www.ontodesign.org/Connaissance#> PREFIX Entreprise: <http://www.ontodesign.org/entreprise#>			(R3)
SELECT ?Expertise ?Evolution ?Experience ?Vocabulaire ?Process ?Contexte WHERE { OPTIONAL { ?Expertise VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT ?Evolution VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT ?Experience VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT ?Vocabulaire VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT ?Process VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT ?Contexte VTT :DeraillleurArriere DeraillleurArriere:ShimanoXT } } 			
Expertise		Experience	
Expertise:RegleMontage		Experience:FixationDeraillleur	

Figure 3.18 : Requête R3

4.5.1 Augmenter la pertinence de la navigation entre les pages du Wiki en associant des liens sémantiques

Un des avantages d'un Wiki sémantique est de pouvoir naviguer entre les pages du Wiki non seulement grâce à des liens hypertextes en passant d'un mot sur une page au même mot sur une autre page, mais également à travers des liens sémantiques d'un mot à un ou d'autres mots sémantiquement reliés. Pour ce faire nous avons utilisé la base lexicale WordNet (Miller 1995). WordNet est une base de données lexicale reprenant les noms, verbes, adjectifs et adverbes de la langue anglaise. Les mots y sont regroupés en concepts, appelés synsets. Un synset correspond à un groupe de mots interchangeable, dénotant un sens ou un usage particulier. Cette base lexicale nous permet de détecter des liens sémantiques, hyperonymes, hyponymes de certains mots (concepts de la base de connaissances) et calculer les distances sémantiques entre ces mots. Le détail des algorithmes de calcul de similarité sémantique est présenté dans le chapitre 4.

Dans le Wiki sémantique, la navigation est donc augmentée (sémantiquement) grâce aux possibilités proposées par les liens sémantiques construits avec certains mots des articles du Wiki. Le système recherche pour chaque mot identifié par les acteurs métier, une recherche des synonymes, hyperonymes (Respirer/Expirer) et hyponymes (Chat/Félin). La figure 3.19 présente un exemple de navigation sémantique dans le wiki. Comme pour l'affichage des types de connaissances (figure 3.17), l'utilisateur a la possibilité de lire les menus sémantiques par un clic droit de la souris sur un mot surligné en bleu indiquant un lien. Dans le menu figure le sous-menu correspondant aux types de connaissances ainsi que le sous-menu avec une liste de mots correspondants aux liens sémantiques. La simple recherche de

liens sémantiques dans WordNet fournit un nombre très important de réponses pour un seul terme. Par exemple dans la figure 3.17, la recherche du mot clé « Profile » retourne une trentaine de liens tel que le montre le tableau 3.8 :

<i>Termes figurant dans l'exemple du Wiki figure 3.19</i>	<i>Liens sémantiques (synonymes, hyponymes, hyperonymes) identifiés à l'aide de WordNet</i>
Pofile	ambit, chart, circuit, compose, contour, contours, figure, form, girth, indite, interpret, lines tournure, outline, pen, perimeter, periphery, represent, shape, silhouette, skyline, write, biography, life, life history, life story, cast of countenance, metoposcopy, tournure, cross section, population profile, population profile, portrait, side view, soil profile
Tube	blow tube, blowgun, blowpipe, blowtube, burette, cannula, capillary, capillary tube, capillary tubing, catheter, chromatography column, cigarette holder, conduit, dropper, duct, eye dropper, gun barrel, hose, hosepipe, inner tube, main, mouthpiece, pea shooter, pipe, pipeline, pipette, siphon, speaking tube, syphon, test tube, tobacco pipe, torpedo tube, tubing, venturi, well point, wellpoint
Simulation	analogy, globe, mock-up, model, modeling, modelling, planetarium, roughcast, theoretical account
Fork	arborise, arborize, bend, bifurcate, bifurcation, brachium, branch, branch off, branching, corner, crinkle, divarication, diverge, fibrillation, forking, leg, limb, ramification, ramify, separate, split, split up, subfigure, trifurcation, turn, turn off, turning, twig

Tableau 3.8 : relations sémantiques obtenues par extraction dans la base lexicale WordNet

Afin de déterminer la liste des réponses et d'obtenir des résultats plus pertinents, nous utilisons WordNet Domains (Magnini et Cavaglià, 2000) qui est une extension multilingue de WordNet 2.0 et permettre de cibler les domaines dans lesquels apparaissent les propositions de liens sémantiques. Dans WordNet Domains, chaque synset est annoté avec au moins une étiquette de domaine (par exemple Economie, Culture, Sport, Politique, ...), choisie dans un ensemble de plusieurs centaines d'étiquettes organisées hiérarchiquement. WordNet Domains nous permet donc d'éliminer les résultats qui ne sont pas liés au(x) domaine(s) concerné(s). Par exemple le mot « Profile » réduit aux domaines « cycles » et « sport » retourne les mots suivants « shape », « perimeter », « periphery » et « skyline ». Parmi ces derniers mots, nous proposons aux utilisateurs les trois concepts qui sont présentés en premier et qui ont un taux d'utilisation plus important. La figure 3.19 présente le menu en clique droit pour le mot « Profile ». Dans ce menu on retrouve le menu « Connaissances » avec trois connaissances reliées au concept : une fiche vocabulaire, une fiche expérience et une fiche processus. Le menu est complété par trois liens sémantiques reliés à « Profile ».

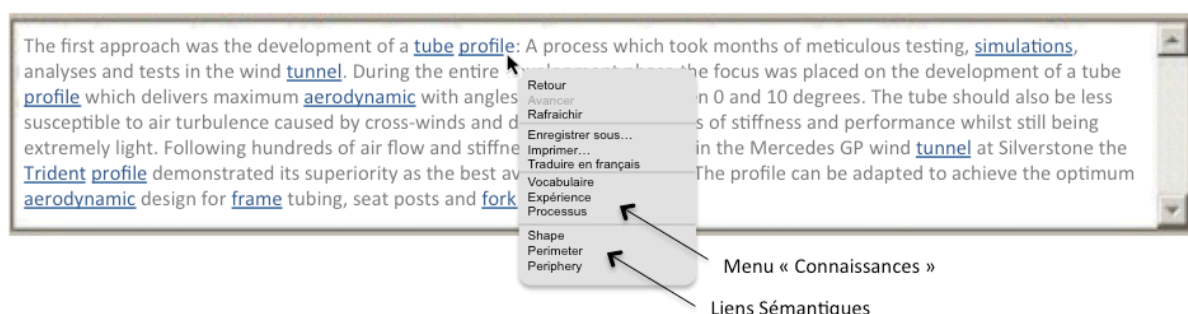


Figure 3.19 : Exemple de liens sémantiques proposés pour un mot donné

Le wiki sémantique a été implémenté en JAVA et l'utilisation de la librairie Jena [57], qui est l'un des moteurs de gestion du Web Sémantique les plus complets. Il supporte la gestion des fichiers RDF, RDFS et OWL ainsi que les requêtes SPARQL et propose un moteur en chainage avant et arrière.

5. Synthèse et analyse (Exploitation des connaissances)

Avec OCEAN et les wikis sémantique nous avons proposé une approche qui permet aux experts métiers de construire leurs bases de connaissances sous forme d'ontologies. Les agents apportent une réelle assistance à la conception de ces ontologies puisqu'ils permettent de les enrichir en proposant des séries de nouveaux concepts sémantiquement reliés à ceux proposés par les experts. Les ontologies construites sont ensuite transformées en requêtes SQL afin d'extraire les données importantes dans différents systèmes d'informations de l'entreprise. La pertinence et la quantité de résultats obtenus lors de l'exécution des requêtes par les agents ont été considérablement augmentées grâce à l'enrichissement sémantique des ontologies.

Les données obtenues sont ensuite annotées par les agents en précisant le contexte organisationnel dans lequel elles ont été créées. Ces données deviennent alors de l'information qui est ensuite stockée dans des fichiers RDF. La transformation de ces informations en connaissances s'effectue à travers l'utilisation de wiki sémantique où les utilisateurs s'approprient les connaissances et ont la possibilité de les approuver, les modifier ou les rejeter.

Wiki-K a été développé et testé dans le cadre du projet ADN (Alliance de Données Numériques). Les utilisateurs peuvent ainsi enrichir les bases de connaissances construites par les agents en fonction des ontologies créés par les experts.

OCEAN pourrait être amélioré en développant des algorithmes de comparaison ou d'alignement d'ontologies. En effet, les agents « Ontologists » d'OCEAN transforment chaque ontologie et exécutent les requêtes associées ontologie par ontologie. On peut améliorer le système en comparant les ontologies créées et en repérant les concepts similaires afin d'optimiser le nombre de requêtes à exécuter pour l'extraction des connaissances.

Une autre évolution envisagée d'OCEAN est d'utiliser des web services sémantiques pour adresser les requêtes aux différents logiciels ou applications métier. À ce jour l'extraction des connaissances se fait par le développement de connecteurs spécifiques développés dans les agents « Interpreters ». À l'aide des web services sémantiques (Nacer et al. 2014), nous pourrions développer des connecteurs sur différentes logiciels ou applications avec lesquels pourraient communiquer les agents « Interpreters ». L'approche sémantique dans ces services faciliterait la reconnaissance du contexte et l'annotation par les agents lors de l'extraction des connaissances.

Notre approche d'utilisation des wikis sémantiques a pour but de faire valider les connaissances capitalisées par les agents par les experts métiers de l'entreprise. De plus ces experts peuvent évaluer, faire évoluer et ajouter de nouvelles connaissances. Chaque fois qu'un acteur métier fait évoluer une connaissance par approbation, modification ou rejet, les agents annotent les actions effectuées. Une évolution envisagée du système serait de

constituer les profils des acteurs métier en fonction de leurs actions dans le wiki afin de créer des réseaux et cercles d'intérêts entre les acteurs.

La recherche d'informations à travers le wiki est efficace grâce à la création/exécution de requêtes SPARQL par les agents. La navigation à travers la mémoire de projet c'est-à-dire les six types de connaissances (vocabulaires, processus, expériences, contexte, évolution et expertise) est facilement accessible en utilisant le menu du clic droit de la souris. La navigation entre différents termes reliés sémantiquement est également fonctionnelle grâce au clique droit. Le nombre d'utilisations a augmenté lors de l'optimisation des concepts proposés. En effet l'utilisation de WordNet procurait trop de réponses avec des concepts trop éloignés sémantiquement. L'optimisation de ces concepts en utilisant que les concepts issus du même domaine métier grâce à WordNet Domains a augmenté la pertinence des choix proposés et ainsi l'utilisation par les acteurs. Cependant les liens de navigations utilisés par les acteurs pourraient être sauvegardés afin de détecter les liens les plus utilisés et d'éviter de proposer des liens qui ne servent pas aux utilisateurs et ainsi d'ajouter de nouveaux liens sémantiques.

À ce jour Wiki-K n'intègre pas de photos ou vidéos, ce sont uniquement des articles au format texte. La prochaine amélioration sera d'intégrer des vidéos et photos avec la possibilité de taguer les photos et de relier ces tags aux profils des utilisateurs et ainsi améliorer leur réseau d'acointance.

Le dernier point d'amélioration envisagé est d'envisager de terminer la boucle complète de gestion des connaissances. À ce jour OCEAN permet de créer des bases de connaissances sous forme d'ontologie en assistant les experts métier, d'extraire, d'annoter, de capitaliser les connaissances par les agents et de les faire évaluer et évoluer grâce à la participation des acteurs dans le wiki. Il manque à présent la possibilité de maintenir, et faire évoluer la structure de la base de connaissances c'est-à-dire les ontologies à partir du wiki. Le problème réside dans le fait de pouvoir catégoriser sémantiquement les nouvelles pages du wiki et d'analyser le nouveau vocabulaire posté par les acteurs métiers. À partir de ces termes et de leurs relations, les agents pourraient être en mesure d'ajouter de nouveaux concepts et de spécifier leurs relations sémantiques.

Pour conclure ce chapitre, nous précisons que nos travaux sur l'utilisation des approches sémantiques utilisant les langages du Web Sémantiques et les agents pour la gestion des connaissances ont été publiés dans des revues internationales (Lahoud et al. 2012 – R10), (Monticolo et al. 2011, R9), (Lahoud et al., ..., S1) et des conférences internationales (Lahoud et al. 2014 - C32), (Lahoud et al. 2014 – C31), (Isaa et al. 2014 – C29), (Monticolo et al. 2013 – C28) , (Lahoud et al. 2012 – C26), (Lahoud et al. 2012 – C25), (Monticolo et al. 2012 – C23), (Matta et al. 2010 C19) .

Chapitre III

Assistance aux communautés ouvertes lors du processus d'innovation et de créativité

Ce chapitre présente ma contribution dans l'étude, la modélisation et l'assistance aux communautés créatives dites ouvertes. Nous avons analysé ces communautés lors des challenges de créativité afin de pouvoir les assister à stocker, trier, comparer et évaluer leurs idées. Comprendre le processus de créativité dans une organisation nécessite de modéliser cette dernière lors des phases de création d'idées. Le processus de créativité est basé sur une succession de phases de divergence où les créatifs vont élargir le champ de connaissances, et de phases de convergences où les créatifs vont utiliser leurs expériences et connaissances pour générer, partager et formaliser des idées. Afin de pouvoir supporter ce processus de créativité, nous avons une nouvelle fois utilisé une approche basée sur des agents pour prendre en compte les collaborations entre les différents créatifs ainsi qu'une approche sémantique pour l'annotation, le suivi et l'exploitation des idées.

1. Contexte & Problématique

Nous vivons dans un monde d'innovation. Chaque jour, de nouvelles innovations sont créées et certaines d'entre elles changent nos habitudes. Dans cet univers en continu changement, les entreprises doivent être innovantes pour survivre. Cela implique qu'elles doivent générer en continu de nouvelles idées pour rester compétitives (Boeddrich et al., 2004, McMullan et al. 2015). La complexité et la rapidité de changement de l'environnement de l'entreprise a fait émerger de nouvelles structures organisationnelles tels que les réseaux de partenaires (Hilthred et al., 2004), les communautés ouvertes travaillant sur le concept d' « Open Innovation » (Henkel et al. 2014) et qui représentent une importante source d'idées pour l'entreprise. Depuis plusieurs années, l'apprentissage, le développement et la réutilisation des connaissances dans les organisations industrielles ainsi que la question de comment développer la créativité sont devenus des sujets importants dans le domaine de la recherche sur les organisations (Pettigrew et al. 2001, Styhre et al. 2005, Robledo et al. 2015).

Par ailleurs, l'évaluation de la créativité dans les organisations et réseau industriels exige un nouveau type de recherche interdisciplinaire liant les sciences humaines, les sciences cognitives et l'informatique à l'aire du digital (Chen et al. 2008, Zagalo et al. 2015). Bien que l'importance de l'innovation organisationnelle en termes de nouvelles méthodes créatives est devenue claire (Mumford et al. 2002), le rôle de la créativité dans l'organisation et dans les réseaux sociaux eux-mêmes est encore largement inexploré. Ce travail se concentre sur le rôle et l'expression de la créativité dans le développement de la structure organisationnelle.

Plusieurs travaux de recherche sont dédiés à l'étude des processus d'apprentissage et de développement de la créativité dans les organisations (Amabile 1983, Bitter-Rijkema et al. 2011, James et al. 2015). Ces travaux ont mis en évidence l'importance l'effet de communauté (Bauer et al. 2007) et la manière dont les individus interagissent et co-évoluent dans leur environnement organisationnel. Du point de vue du domaine de la gestion des connaissances, les organisations créatives sont considérées comme des systèmes de connaissances distribuées (Chang 2011). Yeh dans (Yeh et al. 2015) explique que la créativité de l'organisation est accrue lorsque ses membres appliquent des méthodes de capitalisation et de gestion des connaissances et sont en mesure de réutiliser ces dernières dans un processus de générations d'idées.

D'autre part, Björk dans (Björk et al. 2009) a étudié l'impact de la « connectivité » entre acteurs d'un réseau d'entreprise sur le processus d'idéation (génération d'idées). Cette connectivité existe à travers les flux de communication tels que les emails, les messageries instantanées mobiles et l'utilisation d'applications pour échanger des concepts, images et vidéos dans les réseaux d'entreprise. Cette étude, confirmée dans (Zagalo et al. 2015) explique que le processus de créativité est considérablement augmenté lorsque l'organisation a recours à des outils numériques pour visualiser, représenter et échanger des informations de différents types (texte, vidéo, son) .

Concevoir un système intelligent pour supporter le processus collaboratif et distribué de créativité est donc une démarche complexe. Cette démarche fait apparaître des problématiques relevant de plusieurs domaines. Adraiz-Villanueva dans (Adraiz-Villanueva et al. 2011) a identifié quatre axes à prendre en compte dans la conception d'un tel système:

- Les caractéristiques personnelles (traits de personnalité, capacité cognitive);

- Le processus cognitif et social (échange, interaction, intérêt pour le groupe) au sein d'une organisation créative ;
- Les facteurs pour encourager la génération d'idées lors de l'utilisation d'interfaces et d'outils informatiques;
- Les facteurs environnementaux qui favorisent ou inhibent la créativité.

Jusqu'à présent, nos travaux dans le domaine de la créativité ont pris en compte les trois derniers facteurs cités précédemment. Les caractéristiques personnelles nécessitent des travaux sur les aspects cognitifs humains que nous n'avons pas traités. Nous nous sommes intéressés aux organisations créatives avec leurs environnements, interactions et processus d'idéation. Notre champ d'application est les challenges de créativité. Depuis plusieurs années les entreprises et particulièrement les grands groupes (EDF, PSA, Décathlon, Total, etc.) apportent un grand intérêt à ce domaine et organisent au sein de leurs équipes des challenges de créativité. Depuis une dizaine d'années, l'École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation¹⁴ (ENSGSI) et le laboratoire de Recherche sur les Processus Innovatifs¹⁵ (ERPI) organisent chaque année le challenge « 48 heures pour générer des idées¹⁶ » impliquant plus d'un millier d'étudiants au niveau national et international. L'atelier de créativité consiste à répondre à des sujets ouverts proposés par des entreprises en appliquant par groupe des méthodes de créativité durant une période de 48 heures. Les groupes constitués d'une dizaine de participants produisent entre quarante et soixante idées durant la période. Ces ateliers de créativité ont pour objectif de développer un environnement collaboratif dans lequel des groupes de travail génèrent un ensemble d'idées (éco système d'idées), les hiérarchisent, les évaluent et les font évoluer. Un challenge mobilise trois types d'acteurs : les commanditaires qui définissent un sujet par rapport à une de leurs problématiques (« Quel sera l'objet connecté de demain qui facilitera le bien-être des seniors », « Comment courir en toute sécurité », etc.), les créatifs qui appliquent les techniques de créativité pour générer des idées répondant aux attentes des commanditaires et les experts en créativité (animateurs) qui guident les créatifs tout au long de l'atelier. Ces derniers alternent les techniques qu'ils jugent adaptées à l'évolution de chaque groupe de créatifs. Après une phase de création d'idées (divergence), les créatifs les évaluent, les trient et approfondissent celles qu'ils jugent les plus pertinentes (convergence) (Gero, 1996). Après une première phase de divergence/convergence, l'ensemble des groupes de créatifs partagent leurs idées. Cette activité se fait à travers des outils de visioconférence et de partage de documents pour les équipes distantes. Les commanditaires reçoivent un nombre important d'idées qu'ils doivent trier, classer et évaluer en terme de faisabilité. Jusqu'à présent ces challenges de créativité utilisent des supports papier pour la formalisation, visualisation, le partage et l'évaluation des idées. Comme nous pouvons l'observer, le processus de créativité est par nature collaboratif, distribué et hétérogène (les étudiants ayant différentes formations, culture et expériences). Les ateliers de créativité représentent un écosystème d'idées qui doivent être gérées, analysées, évaluées et exploitées afin de conduire à faire émerger des idées innovantes.

¹⁴ www.ensgsi.univ-lorraine.fr

¹⁵ <https://laboratoire-erpi.wikispaces.com>

¹⁶ <http://48h-innovation-maker.com/>

Le premier verrou scientifique de la conception d'un système supportant le processus de créativité et qu'il doit supporter également le cycle de vie des idées, de leurs créations à leurs exploitations.

Par ailleurs, avec le nombre croissant d'ateliers de créativité et l'intérêt grandissant pour le domaine de l'innovation par les entreprises, la tendance actuelle est d'utiliser les technologies de l'information et de la communication en tant que support au processus de créativité et d'innovation. Un travail récent concernant le développement d'une plate-forme de l'innovation a été considéré comme stratégique par le ministère japonais de l'Éducation, et soutenu par un programme national de recherche nommé "centre d'excellence mondial pour les systèmes mécaniques de l'innovation " (Wang et al. 2014). Le système utilise des flux vidéo et audio pour que les participants puissent échanger des idées ainsi qu'un répertoire partagé pour déposer des documents. On retrouve ces fonctions également dans la plate forme IdeaStorm¹⁷. Le système ne présente pas de fonction d'analyse et de gestion d'idées. Un système intelligent appelé OpenIdeo¹⁸ a été élaboré pour soutenir le processus de découverte idée. Elle repose sur une base d'idées qui sont déposées par une communauté d'internautes. Plusieurs cycles de découverte d'idées à partir de la base peuvent être effectués. Chaque cycle est caractérisé par une carte reliant les idées à l'aide de mots clés déposés par les utilisateurs. Cependant, la représentation des relations entre les idées semble parfois incohérente et n'est pas structurée. Il semble difficile d'utiliser OpenIdeo lors d'une séance de créativité puisque les cartes présentées ne sont pas soumises à une évaluation ou validation de la communauté de créatifs.

Le nombre de plateformes Web affichant un support à la créativité et à l'innovation a considérablement augmenté avec la constitution des communautés du Web 2.0. Certaines de ces plates-formes, telles que IDSpace¹⁹, IdeaGarden²⁰, COLLAGE²¹, BISON²² fournissent des fonctions pour faciliter le dépôt d'idées de manière synchrone et asynchrone. Ces plateformes facilitent l'interaction et le partage d'informations et d'idées entre les participants. Cependant, même si leur principal objectif est de favoriser le processus d'innovation et de créativité, elles sont fondées sur des principes Crowdsourcing et leur activité est limitée à la contribution des internautes et leur envie de partage d'idées. Parmi ces plateformes, ARISTOTELE²³, a pour objectif de développer l'apprentissage et la créativité dans une communauté. Cette plateforme affiche des fonctions de gestion des connaissances et de gestion de l'innovation en proposant des outils pour faciliter l'innovation collaborative. Dans l'ensemble de ces plates formes de Crowdsourcing, les interfaces hommes-machines ne sont pas suffisamment ergonomiques et intuitives pour réaliser des séances de créativité.

Le second verrou scientifique concerne le choix des outils logiciels et des interfaces adaptées pour faciliter le processus de créativité sur une plateforme digitale, de manière synchrone et asynchrone, aussi bien en séance de groupe que lors d'échanges à distance.

¹⁷ <http://www.ideastorm.com/>

¹⁸ <https://openideo.com/>

¹⁹ http://cordis.europa.eu/projects/rcn/85780_en.html

²⁰ <http://mi-lab.org/wp-content/blogs.dir/1/files/publications/int125-leitner.pdf>

²¹ <http://projectcollage.eu/>

²² <http://www.bisonet.eu/>

²³ <http://www.aristotele-ip.eu/>

Avant de présenter mes contributions à travers les applications que nous avons conçues et développées pour supporter le processus de créativité, je présente dans la section suivante les liens entre le domaine de l'innovation et de la créativité.

2. Innovation, créativité et conception de produit

L'innovation est définie comme l'acceptation par l'usage d'un nouveau produit, processus ou service se différenciant des autres, et associé à une notion de succès et de valeur perçue par les acteurs économiques (clients), (Tidd et al. 2009). L'innovation est associée à un processus généralement défini en quatre phases ; la recherche d'idées, la sélection d'idées, la mise en place d'une stratégie de développement et l'implémentation (Le Masson et al. 2006). Si l'on considère l'innovation comme un processus, il est aisé d'associer à ce processus la créativité comme la phase de recherche d'idées (Damanpour et al. 2012; Boly, 2008).

Tout comme l'innovation, la créativité peut être vue sous différentes perspectives : certains auteurs l'a désignée comme un état d'esprit, d'autre un processus et certains comme le résultat d'une conception. Plusieurs définitions ont été proposées dans la littérature ; dans un contexte de résolution de problème, la créativité est la capacité à produire des concepts nouveaux et adaptés à la demande du ou des clients (Lubart, 2003), ou la capacité de produire quelque chose d'original et d'approprié à un contexte (Howard et al., 2008). En d'autres termes, la créativité est un équilibre entre le concept, la nouveauté et l'utilité (Puccio et Cabra, 2012) ou la pertinence (Zeng et al, 2011, Howard et al, 2008) qui est obtenue à partir de connaissances ou expériences acquises (Ogot et al, 2007).

Ces définitions sont proches de la définition du concept de « Design Thinking » qui est une approche de conception à partir de techniques de recherche de solution (Dym et al. 2005, Brown 2008). Dans ce contexte, il y a trois interprétations pertinentes de cette approche: la conception comme un résultat tangible en terme de concepts d'une recherche de solution (Von Stamm, 2008), la conception comme une activité créatrice (Von Stamm, 2008; Warr et al, 2005), et la conception comme un processus transformant l'information (série d'idées) en résultats (Von Stamm, 2008), que ce soit tangible (produit) ou immatériel (service) (Von Stamm, 2008). Von Stamm suggère également que la créativité se déroule dans le processus de conception. Ainsi, la conception intègre la génération d'idées donc le processus de créativité pour aboutir à la définition de nouvelles solutions techniques. La conception de produit est assurée par un groupe de travail pluridisciplinaire travaillant de manière collaborative et ayant pour objectif de faire émerger des idées afin d'aboutir à la réalisation d'un nouveau produit. Je présente dans la section suivante le développement de la créativité dans une organisation telle qu'un service d'entreprise ou une équipe projet.

2.1 Créativité organisationnelle

Comme nous l'avons vu précédemment, la créativité est par nature sociale puisqu'elle basée sur le résultat d'un travail collaboratif au sein d'une organisation. Deux aspects sont généralement observés lorsque l'on considère la collaboration dans le cadre de la créativité:

- Une collaboration où tous les acteurs sont au même endroit et travaillent en même temps ;

- Une collaboration à distance qui implique une équipe virtuelle, où les membres interagissent de manière irrégulière et ayant recours aux technologies de l'information et des communications pour partager et échanger leurs idées (Nemiro, 2004).

Indépendamment des deux types de collaborations précédemment citées, une organisation, pour être efficace et créative, a besoin d'avoir mis en place des processus cognitifs efficaces, de pouvoir coordonner ces activités, d'être à même de structurer ses objectifs et de les évaluer (Salas et al. 2009). Paulus dans (Paulus et al. 2008) présente un modèle d'organisation créative mettant en évidence cinq facteurs influents :

- Les caractéristiques du groupe d'acteur tel que l'aspect culturel, les spécialités de chaque acteur, leurs positions dans l'entreprise, etc.
- La structure du groupe avec son organisation ;
- L'ambiance dans le groupe c'est à dire l'intérêt à travailler les uns avec les autres ;
- La motivation du groupe à atteindre ses objectifs ;
- L'influence des demandes extérieures (demande des dirigeants de l'entreprise, demandes clients ; etc.)

Une organisation créative est bien plus que la somme des idées créatives de ses acteurs. Pour chaque situation, les membres de l'organisation s'influencent et se motivent pour être plus créatifs tout en mettant en place un processus cognitif propre au groupe. Entendre une idée provenant d'un membre du groupe, permet aux autres membres du groupe de générer de nouvelles idées. La connexion entre chaque idée développée est issue d'un processus cognitif qui est difficile à analyser et à formaliser (Kohn et al. 2015). Le processus cognitif du groupe est également influencé par sa socialisation. En effet le processus de créativité est souvent le résultat d'un échange d'information et d'idées au sein du groupe. Cependant le climat d'échange peut changer si certaines personnes du groupe prennent une position dominante sur l'ensemble du groupe (Kerr et al, 2004). Par exemple un manager imposant sa vision au groupe. Ce phénomène d'inhibition survient également lorsque des acteurs de l'organisation pensent que certaines personnes du groupe détiennent un savoir particulier dû à leurs compétences. Les études de Nijstad (Nijstad et al, 2006) ont montré que dans cette situation l'ensemble du groupe est dans l'attente que les experts expriment leurs idées. Afin d'éviter, ces phénomènes de blocage Larson (Larson 2010) explique qu'il est nécessaire que le groupe interagisse et communique en continu ce qui contribue à oublier les positions sociales de chacun et à se focaliser sur l'objectif global de l'organisation. L'interaction se fait à travers des outils logiciels lorsque les membres de l'organisation sont distribués. Depuis quelques années, des plateformes informatiques, issues des travaux de recherche, ont été conçues pour supporter le processus de créativité, et sont appelées CSS – Creativity Support System (Masseti 1996). Je présente dans la prochaine section les propriétés de ces systèmes.

2.2 Les systèmes d'aide à la créativité

Il existe un large éventail d'approches pour soutenir la créativité à l'aide de logiciels ou de plateformes numériques. Lubart dans (Lubart et al, 2005) classe ces approches par type d'assistance en les différenciant en quatre rôles :

- Le « coach » en donnant des conseils et aides à mettre en œuvre afin d'appliquer des méthodes de recherche d'idées;
- Le « facilitateur » qui fournit un support pour la collaboration dans un groupe afin de mettre le groupe en confiance pour qu'il puisse développer sa créativité;
- La « nounou » qui surveille l'avancement des travaux et fournit un environnement d'apprentissage;
- Le « collègue » qui génère ses propres idées et présente aux autres membres des propositions.

Chacune de ces catégories représente une approche spécifique pour concevoir le système. Parmi les CSS, Gi2MO²⁴ (Westerski, 2013), est certainement celui qui est le plus documenté. C'est un outil d'aide à la collaboration de type « coach », car il guide les différents acteurs à développer une approche créative pour recueillir et partager des informations. Il assure également le suivi du déroulement de l'approche pour les utilisateurs en suivant l'évolution des idées créées. L'objectif principal de Gi2MO est de collecter des idées. Un autre CSS, dédié à la collecte des idées, est le portail « Innovation Maker²⁵ ». Ce portail a été développé dans le cadre de nos travaux au laboratoire ERPI et permet aux participants de déposer des fiches idées lors du challenge « 48H pour générer des idées ». Chaque fiche décrit une idée en fonction de son titre, sa description, son éventuelle représentation graphique.

D'autres CSS ont pour objectif de gérer les idées et faciliter la collaboration au sein du groupe de créatif. Ils ont le rôle de « facilitateur ». Le processus de collaboration est alors pris en compte selon deux points de vue ; la communication et la coordination. La coordination consiste à accéder, partager et déposer des idées dans un groupe (Gutwein 2013). La communication dans un CSS consiste à gérer les messages de manière synchrone et asynchrone entre les participants qui sont à distance et qui forment une équipe virtuelle. Les fonctions les plus courantes sont les messageries intégrées, les chats et les forums. Certains CSS tels que iLounge (Sundholm et al., 2004) et iRoom (Gutwein, 2013) fournissent des environnement complet pour la communication avec des fonctions de vidéoconférence, messagerie instantanée sur téléphones mobiles et tablettes, tableau blanc interactif et table interactive. Jones dans (Jones et al., 2012) explique que les tables et tableaux interactifs sont fréquemment utilisés comme environnement par les CSS puisqu'ils donnent la possibilité à un groupe de travailler de manière collaborative, d'échanger en présentiel ou à distance et de créer, explorer et organiser des idées équitablement entre les participants grâce aux écrans

²⁴ <http://www.gi2mo.org/>

²⁵ <http://www.48h-innovation-maker.com/?language=en>

multitouches. Toutefois les systèmes collaboratifs seuls ne sont pas suffisants pour supporter le processus de créativité, ils doivent être associés à un système d'assistance à la créativité.

L'objectif des systèmes d'assistance à la créativité est fournir toutes les informations pour appliquer une des nombreuses méthodes de créativité en incluant des tutoriels, des guides ou en guidant pas à pas une séance de créativité. Parmi la centaine de méthodes de créativité référencées par VanGundy dans (VanGundy 2004), le brainstorming est certainement l'approche la plus assistée par les CSS. En effet les systèmes parmi ces systèmes nous pouvons citer E-Brainstorming (Clayphan et al., 2011), CABA - Computationnel Agent Brainstorming Assistant (Faste et al. 2013), Firestorm (Clayphan et al.), Momentum (Bao et al., 2010) ou plus récemment BrianStorming (Masson 2014). L'objectif de ces systèmes d'assistance au Brainstorming est de pouvoir ajouter un participant virtuel au groupe de créatif qui propose une série de mots lors de la séance de créativité. Ces systèmes sont classés dans la catégorie « collègue ». Ils sont actifs dans la séance de créativité en suggérant des idées aux membres de l'organisation. Ces CSS sont basés sur des approches d'Intelligence Artificielle et des modèles de raisonnement humain (Boden 2009). Wiggins (Wiggins 2006) explique qu'« un CSS basé sur une Intelligence Artificielle, peut fournir trois formes de créativité : combinatoire, exploratoire et transformationnelle ».

3. Assistance aux séances de BrainPurge et à la classification des idées

Notre première contribution dans le domaine de la créativité fut de proposer un outils pour aider les participants au challenge « 48 heures pour générer des idées » à regrouper et classer leurs idées durant les séances de « BrainPurge ». Ces exercices sont souvent réalisés en début de challenge. Le BrainPurge expliqué dans (Runco 2014) est une séance où les participants expriment toutes les idées qui leur viennent à l'esprit à propos d'un sujet. C'est la quantité d'idées diverses, variées, originales, parfois étranges qui est recherchée. À la différence d'un Brainstorming, où les participants écrivent uniquement les idées reliées directement au sujet, ici, les créatifs exposent toutes les idées conventionnelles et consensuelles afin d'éviter de converger vers ces idées lors des autres séances de créativité. Lors de nos observations durant le challenge de créativité, nous avons constaté qu'une séance de BrainPurge peut durer jusqu'à quatre vingt dix minutes et qu'un groupe d'une dizaine d'étudiants génère entre quatre cents et six cents mots. Même si les idées exprimées durant le BrainPurge ne sont pas censées être réutilisées lors d'autres séances, les experts en créativité expliquent qu'à partir de la liste de mots générée il est possible de déduire des thèmes de réflexion associés au sujet et qui pourront être utilisés lors d'autres séances. Par exemple sur un sujet tel qu'« imaginez le casque de vélo du futur », nous avons pu déduire l'apparition de thèmes tels que la sécurité, l'esthétique, le confort, l'aérodynamisme, l'encombrement à partir du résultat du BrainPurge.

Afin d'assister les groupes de créatifs à classer leurs idées et à analyser les thèmes émergents, nous avons conçu un outil d'analyse de liens sémantiques (Issa et al. 2014) dans le flux de mots générés par les créatifs. Notre système suit un processus d'analyse en neuf étapes :

- Étape 1 : L'animateur de la séance de créativité écrit le sujet du challenge de créativité dans l'interface du système. Le sujet est le thème principal du challenge, par exemple « comment courir en toute sécurité » ou « comment rapprocher des générations différentes à travers l'utilisation d'applications pour smartphone ».

- Étape 2 : Le système propose à l'animateur de définir une liste de mots en rapport avec le sujet qu'ils aimeraient être pris en compte durant le challenge.
- Étape 3 : Le système construit une ontologie en générant des thèmes issus de l'identification de liens sémantiques à l'aide d'une base lexicale. La liste de mots permet de guider le système pour l'enrichissement sémantique.
- Étape 4 : La séance de créativité débute et les participants écrivent les mots exprimés dans l'interface du système.
- Étape 5 : Le système analyse chaque mot et les classes en fonction de leurs liens sémantiques.
- Étape 6 : Le système converge vers la définition de thèmes issus de la classification des mots.
- Étape 7 : Le système construit un nuage de thèmes en fonction du nombre de mots exprimés par les créatifs et classé par thèmes.

Nous détaillons dans cette section les étapes 3, 5, 6 et 7 dans lesquelles le système utilise les approches sémantiques pour l'assistance à la créativité.

3.1 Comparaison sémantique et découverte de thèmes liés au sujet

La construction de l'ontologie est basée sur un enrichissement sémantique. Nous nous sommes inspirés des travaux que nous conduits dans la conception du système multi-agent OCEAN et des algorithmes utilisés pour les tâches d'enrichissement sémantique des agents ontologistes (Cf. chapitre 3, section 3.1.2). À la différence de l'approche utilisée dans OCEAN, nous avons utilisé la base lexicale française Wolf²⁶ (Eckart et al. 2012), (Darja et al. 2015) au lieu de WordNet. WOLF se présente sous format XML qu'il est possible de parser à l'aide d'une API telle que SAX. Grâce à la base lexicale, nous pouvons obtenir des listes de synonymes, hyperonymes et hyponymes pour un mot. C'est grâce à ces catégories que nous sommes en mesure de déduire des thématiques liées à un sujet et de classer les idées en fonction de ces thèmes.

Notre système décompose le sujet, inséré par l'animateur à l'étape 1, à l'aide d'une analyse syntaxique qui permet de déduire un arbre de mots. Le sujet est constitué d'une ou plusieurs phrases. Une phrase est considérée comme un ensemble pouvant contenir un adverbe, des noms des adjectifs, des déterminants, et un verbe. La base lexicale permet d'identifier le type de chaque mot. La première opération consiste à ne garder que les noms et verbes du sujet (étape❶, figure 4.1). Pour chaque concept, le système recherche une série de synonymes associés (étape❷) afin d'élargir les possibilités de propositions et de classification. L'étape❸ consiste à rechercher une série de lemmes qui sont des hyperonymes de chaque synonyme identifié. Un hyperonyme est une classe parent dans la base lexicale telle que « véhicule » pour le lemme « voiture ». Lorsque le nombre d'hyperonymes est faible, le système complète les séries à l'aide de synonymes proches. L'étape❹ est une

²⁶ <http://alpage.inria.fr/~sagot/wolf.html>

recherche des domaines associés aux sujets. Nous avons adapté et utilisé une extension de la base lexicale appelée WorldNet Domains²⁷ qui permet d'associer des termes à un domaine. Dans cette étape nous effectuons une recherche de domaine pour chaque synonyme et hyperonyme identifié dans les étapes 2 et 3 et nous sélectionnons une série de cinq à six domaines concernant au sujet.

Lorsque les thèmes sont identifiés par rapport au sujet, le système procède à une approche de comparaison sémantique pour chaque mot (idée) exprimé par les créatifs. Pour chaque, nous enrichissons (étape 5) son environnement avec une série de cinq synonymes, hyperonymes et hyponymes (correspondant à la classe inférieure d'un lemme. Par exemple une voiture est l'hyponyme d'un véhicule). La dernière étape (étape 6) est dédiée à la recherche de « matching » c'est-à-dire de correspondance entre un synonyme, hyperonyme ou hyponyme lié à l'idée et un domaine, hyperonyme ou synonyme lié au sujet. Lorsqu'un « matching » est trouvé, l'idée peut ainsi être associée à un thème.

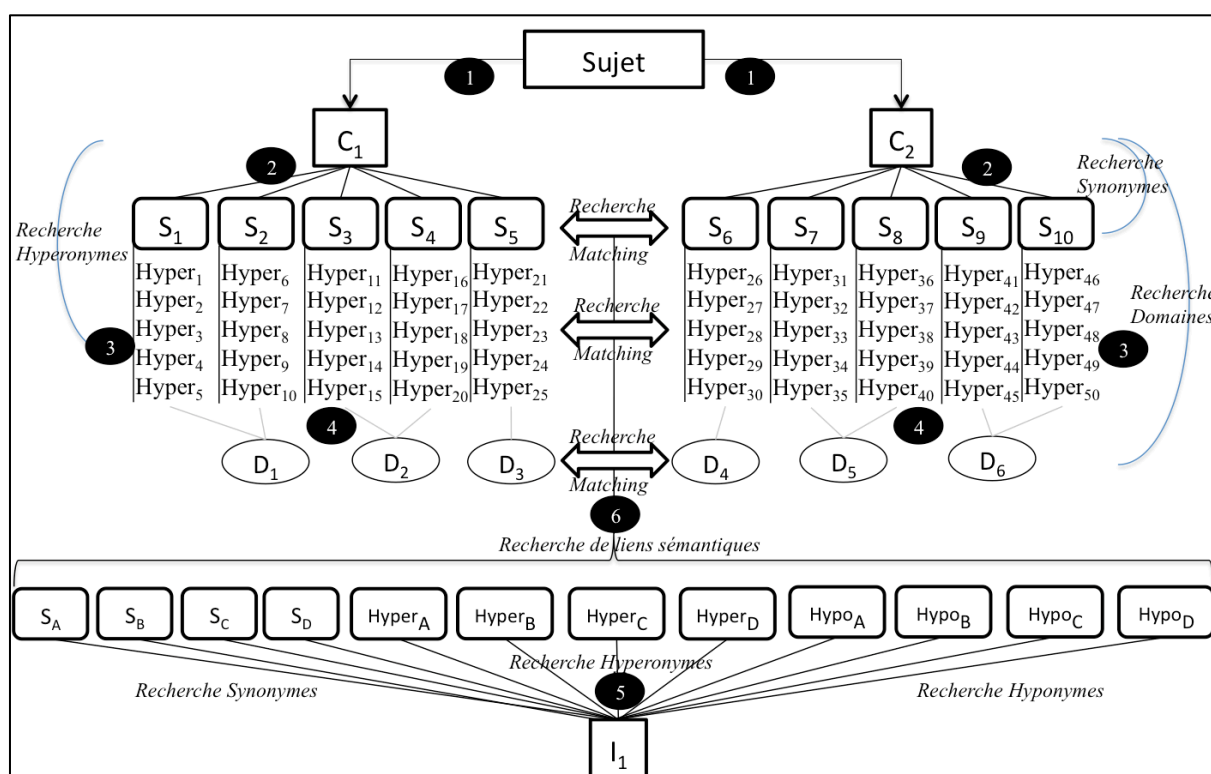


Figure 4.1 : Comparaison sémantique et analyse thématique

3.2 Assistance au BrainPurge et à la clustérisation par thèmes des idées ; expérimentations et retour d'expériences

Nous avons expérimenté notre système lors de plusieurs séances de BrainPurge durant le challenge 48 heures pour générer des idées. Les étudiants utilisent une interface simple pour insérer l'ensemble des mots qui leur viennent à l'esprit. La figure 4.2 présente un extrait d'une soixantaine de mots proposés par les créatifs parmi les six cents observés. La figure décrit le découpage du sujet ainsi que les synonymes, hyperonymes et thèmes associés. La majorité des mots est associée à un des thèmes identifiés par le système grâce à l'enrichissement sémantique. Cependant certains mots ont des distances sémantiques trop

²⁷ <http://wndomains.fbk.eu/>

importantes avec le sujet pour pouvoir être associés à un thème proposé par le système. Par exemple nous avons observé des mots proposés par les créatifs tels que « ciel », « cheval », « lune » etc. qui n'ont pas pu être associés par le système. Nous avons observé que ces séquences de mots constituent des séries qui sont en rupture avec le sujet. Le système ne peut pas les traiter.

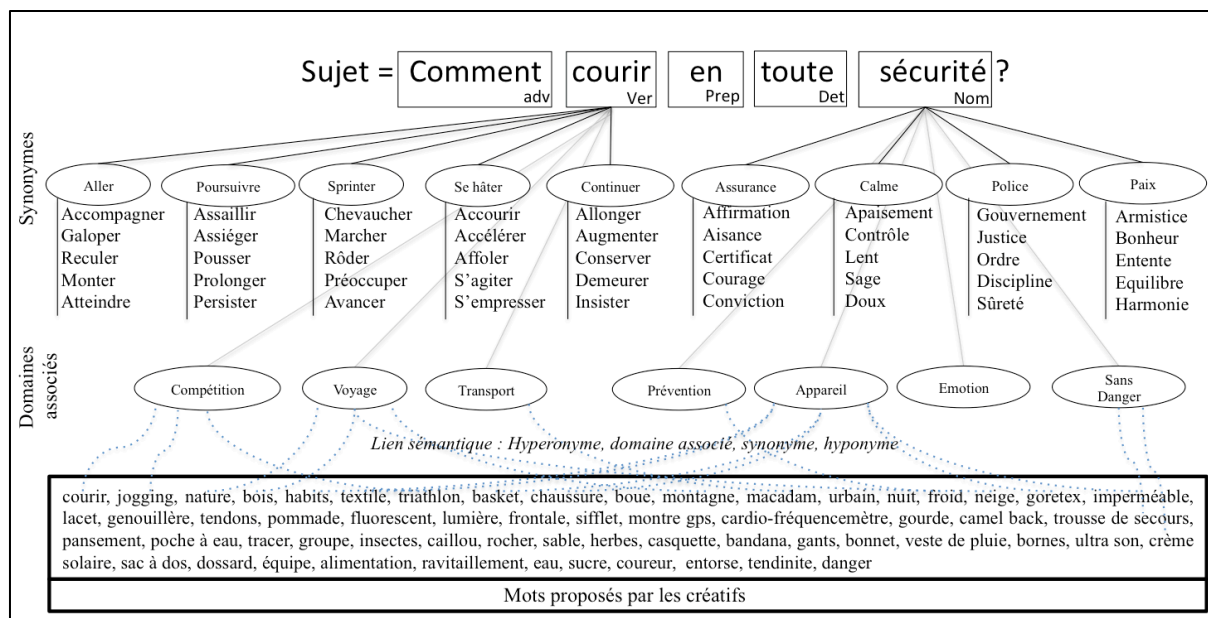


Figure 4.2 : Génération des thèmes lors d'une phase de BrainPurge.

L'assistant de BrainPurge a pour premier objectif de générer des thèmes associés aux idées proposés par les créatifs à partir d'une approche d'analyse sémantique. Les thèmes sont représentés par un nuage de tags où un tag est un thème. Le système calcul le nombre de connexion sémantique pour chaque thème, par exemple les lemmes « courir », « jogging », « sprinter » ont chacun une association sémantique avec le thème « compétition » ce qui représente trois poids pour ce thème. Certains thèmes sont plus importants que d'autres. La figure 4.3 représente les interfaces de l'assistant BrainPurge avec sur la partie droite, le nuage de tags. L'interface est réalisée en langage JAVA et le nuage de tags utilise l'API Wordle²⁸.

L'assistant de BrainPurge a pour premier objectif de générer des thèmes associés aux idées proposés par les créatifs à partir d'une approche d'analyse sémantique. Les thèmes sont représentés par un nuage de tags où un tag est un thème. Le système calcul le nombre de connexion sémantique pour chaque thème, par exemple les lemmes « courir », « jogging », « sprinter » ont chacun une association sémantique avec le thème « compétition » ce qui représente trois poids pour ce thème. Certains thèmes sont plus importants que d'autres. La figure 4.3 représente les interfaces de l'assistant BrainPurge avec sur la partie droite, le nuage de tags. L'interface est réalisée en langage JAVA et le nuage de tags utilise l'API Wordle.

On retrouve les thèmes identifiés par le système avec une importance pour les thèmes « Prévention », « Compétition » et « Appareil ». À la suite de la séance de BrainPurge, les créatifs ont expliqué qu'ils étaient d'accord que les thèmes « Prévention » et « Compétition » devaient être traités, mais que le thème « Appareil » était inapproprié, ils auraient préféré utilisé le mot « équipement » ou « produit ». Le second retour d'expérience est le fait que les

²⁸ <http://www.wordle.net/>

créatifs auraient aimé voir d'autres thèmes tels que l'« environnement », les « nouvelles technologies de l'information » qui n'ont pas été détectés par le système.

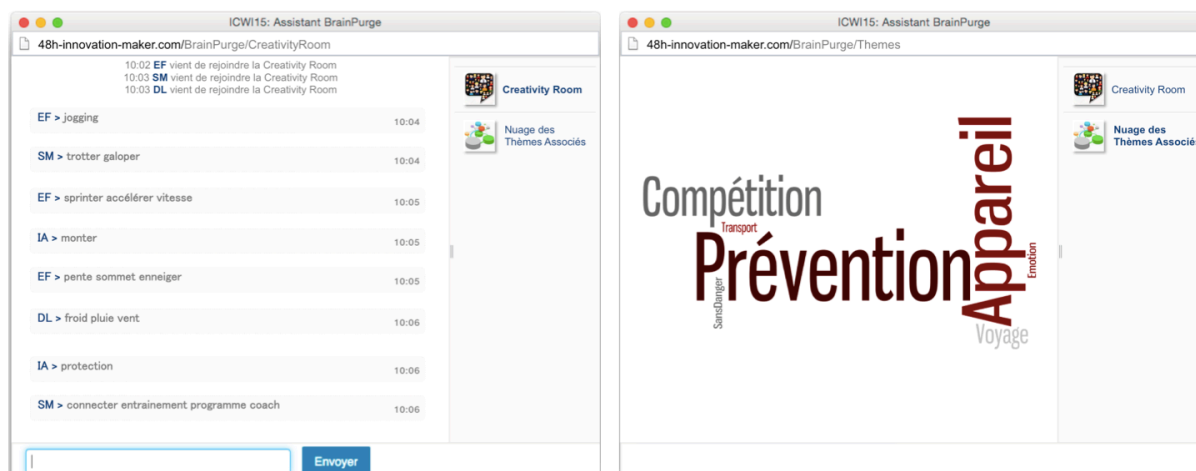


Figure 4.3 : Génération des thèmes lors d'une phase de BrainPurge.

Le second objectif de l'assistant de BrainPurge est d'assister la séance de créativité en participant au BrainPurge. La partie gauche de la figure 4.3 présente le déroulement d'une séance de BrainPurge avec trois participants représentés par leurs initiales EF, SM et DL. L'interface se présente sous forme d'un chat où les créatifs sont à distance et peuvent partager leurs idées en insérant les mots qui leur viennent à l'esprit par rapport au sujet. L'assistant BrainPurge intervient sous les initiales IA. Son intervention est aléatoire et sa fréquence se situe dans un intervalle entre cinq et vingt mots proposés par les créatifs. IA propose aléatoirement un des lemmes associés au dernier terme exprimé par le créatif. Comme je l'ai expliqué auparavant, pour chaque mot/idée proposé par un créatif le système recherche une série de synonymes, d'hyponymes et d'hyperonymes. IA choisit de manière aléatoire un de ces mots. Dans l'exemple de la figure 4.3, IA propose le mot « monter » à la suite de la série de mots proposés par EF qui sont « sprinter », « accélérer », « vitesse ». Nous observons que EF poursuit en associant la série « pente, sommet, enneiger ». L'intervention du système semble bénéfique dans ce cas. Par contre dans le second exemple présenté, l'IA propose « protection » suite à la série « froid, pluie, vent », mais SM enchaine en proposant « connecter, entraînement, programme, coach ». Dans ce cas SM exprime une idée de rupture et le système ne semble pas apporter de bénéfice à la démarche créative.

Suite à ces premières expérimentations, nous pensons que l'approche sémantique peut permettre aux créatifs de rebondir sur les mots proposés et faire émerger de nouvelles idées. Cependant l'approche n'est pas suffisante, à la fois pour définir les thèmes et pour assister la séance de Brainstorming. Cette approche peut être améliorée en prenant en compte des modèles de raisonnement cognitifs des créatifs ainsi que leurs interventions dans le choix des thèmes.

4. Evaluation des idées par rapport au sujet proposé

L'évaluation des idées après une séance de créativité est un réel problème pour les industriels. En effet, lors du challenge 48 heures pour générer des idées, les étudiants développent un nombre de fiches idées importantes (1325 fiches idées lors du dernier challenge 2014). Une fiche idée est un formulaire composé d'une description de l'idée, d'une représentation graphique est d'un scénario d'utilisation (figure 4.4). La lecture, l'analyse et

l'évaluation des idées représentent un travail considérable pour les industriels.

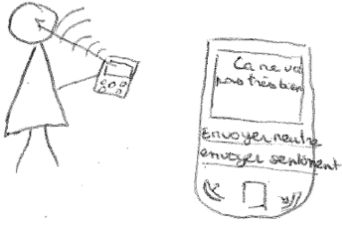
Nom de l'idée : Le SMS d'humeur	N° de l'idée : 1320
<u>Connaissances, expériences ayant donné lieu à cette idée :</u> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center; margin-top: 5px;"> <i>Transmettre son humeur, ses sentiments par SMS</i> </div>	
<u>Description :</u> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <i>Un portable capable de faire ressentir ses humeurs à son interlocuteur. On peut choisir d'envoyer le message avec ou sans sentiment. L'interlocuteur choisit de l'ouvrir avec ou sans aussi</i> </div>	
<u>Schéma:</u> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin-top: 5px; text-align: center;">  </div>	
<u>Scénario d'usage :</u> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 5px;"> <i>Je suis chez moi, j'ai envie d'envoyer un SMS pour communiquer mon impression personnelle. J'envoie « hello, ça va » à mon ami et je choisis de lui transmettre la représentation de mon humeur avec. Ainsi mon ami ressentira mon état émotionnel pendant un instant.</i> </div>	

Figure 4.4 : Exemple de fiche idée « Le SMS d'humeur » (traduite en français)

Pour faire face à ce problème, nous avons travaillé sur la conception et la mise en place d'un système qui permet de comparer les idées générées par les créatifs avec le sujet proposé par l'industriel. Nous avons expérimenté deux approches pour ce système. Pour chacune des approches, nous avons comparé les résultats du système à ceux proposés par une équipe pilote.

4.1 Comparaison lexicale

La première approche est basée sur une comparaison lexicale des fiches idées et du sujet proposé par l'industriel. Il s'agit ici d'identifier une certaine similitude entre les termes utilisés dans les fiches idées et le vocabulaire choisi dans la description du sujet. Le sujet est détaillé avec l'industriel avant le challenge de créativité. La description du sujet est un texte de dix à quinze lignes contenant les thèmes, ainsi que les mots-clés relatifs au sujet que le commanditaire souhaite voir abordé durant le challenge. À partir de ce texte, une présentation est préparée pour introduire le sujet aux participants.

Le texte du sujet est suffisamment riche en vocabulaire pour envisager une comparaison lexicale entre le sujet et les fiches idées. Après avoir analysé les différentes approches de recherche d'information et de classification, nous avons utilisé un algorithme qui nous permette d'évaluer la similarité c'est-à-dire la distance lexicale entre deux textes. Il existe trois modèles pour la recherche d'information ; le modèle booléen (Clinchant et al. 2008) qui détermine une distance à l'aide de poids et d'une pertinence binaire, le modèle vectoriel (Manning et al. 2008) où les collections de termes d'un texte représentent des vecteurs, et enfin, le modèle probabiliste BM25 (Robertson et al. 2010). Le modèle BM25 a prouvé son efficacité dans le calcul de similarité pour des systèmes apprenants utilisant des pages Web comme source d'information (Derhami et al. 2013), dans la comparaison de dossiers médicaux (Pecina et al. 2014) ou encore pour l'analyse d'avis d'internautes en vue de créer des systèmes de recommandation de produits (Garcia Esparza et al. 2012).

Le modèle BM25 établit la pertinence à travers un score de similarité $s(d_i, q)$ entre un texte appelé document d_i et une requête (autre texte) q à partir des probabilités de pertinence et de non-pertinence des documents tel que :

$$s(d_i, q) = \frac{P(R|d_i)}{P(\bar{R}|d_i)} \quad (1)$$

$P(R|d_i)$ étant la probabilité que le document d_i fasse partie de l'ensemble des documents pertinents tandis que $P(\bar{R}|d_i)$ est la probabilité que le document d_i fasse partie de l'ensemble des documents non pertinents pour la requête q . Ce score peut être réécrit comme la somme des poids de pertinence w_j des termes t_j , $j = 1, \dots, m$ présents dans le document :

$$s(d_i, q) = \sum_{j=1}^m w_j \mathbb{1}_{\{t_j \in d_i\}} \quad (2)$$

$\mathbb{1}_{\{t_j \in d_i\}}$ étant la fonction indicatrice qui vaut 1 si le terme t_j est présent dans le document d_i et 0 sinon. Les poids de pertinence sont exprimés à partir des probabilités de pertinence des termes pour le document.

Le poids d'un terme dans une requête ou un document est généralement exprimé à l'aide de la pondération T F / IDF (Robertson et al. 2010). Elle est définie à partir des quantités Term Frequency (TF) et Inverse Document Frequency (IDF). La quantité TF représente le nombre d'occurrences d'un terme au sein d'un document.

La quantité IDF exprime l'importance d'un terme au sein du corpus considéré, telle que :

$$IDF(t) = \log \frac{N}{n_t} \quad (3)$$

N étant le nombre total de documents du corpus et n_t le nombre de documents qui contiennent le terme t . La pondération T F.IDF d'un terme t dans un document d_i est alors exprimée comme le produit des deux quantités précédentes :

$$TF.IDF(t, d_i) = TF(t, d_i).IDF(t) \quad (4)$$

Cette pondération prend en compte le fait que tous les documents (textes) n'ont pas le même pouvoir discriminant. L'importance d'un terme est définie à partir de sa fréquence dans le document et les termes peu discriminants, car trop fréquents, sont pénalisés.

Le score de similarité du modèle BM25 entre le document d_i et la requête q , noté $BM25(d_i, q)$, est défini de la façon suivante :

$$BM25(d_i, q) = \sum_{j=1}^m \frac{IDF(t_j).TF(t_j, d_i).(k_1 + 1)}{TF(t_j, d_j) + k_1.(1 - b + b \frac{|d_i|}{avdl})} \quad (5)$$

$|d_i|$ étant le nombre de termes composant le document d_i , $avdl$ le nombre de termes composant les documents du corpus, et k_1 et b des paramètres d'ajustement.

Afin d'expérimenter le modèle BM25, nous avons intégré sa formule dans un algorithme et nous avons comparé une douzaine de fiches idées (choisies au hasard) avec le texte de description du sujet rédigé par l'industriel. Un score de similarité lexicale BM25 élevé, démontre une pertinence élevée de la fiche idée par rapport au sujet d'après le modèle probabiliste. Notre expérimentation portant sur douze fiches idées, nous avons classé ces fiches idées en quartiles. Le premier quartile représentant les trois fiches idées les plus pertinentes. Dans le même temps, nous avons demandé à une équipe de huit personnes de classer les fiches idées par ordre de pertinence par rapport au sujet.

Le tableau 4.1 ci-dessous présente les résultats de l'expérimentation. La première colonne énumère les quartiles. Le quartile Q1 regroupe les idées les plus pertinentes par rapport au sujet. Les deux colonnes suivantes exposent les résultats de la comparaison faite par le système en utilisant le modèle BM25. Par exemple dans le quartile Q1, le système classe les fiches idée 1142, 33 et 621, ayant respectivement un score de similarités lexicales de 10,2, 7,9 et 6. Les huit personnes, quant à elle, ont classé les fiches idées 1490, 621 Et 824 dans le quartile Q1article avec des scores de consensus de 7 votes sur huit pour les fiches idées 1490 et 621 ainsi que 6 votes sur 8 pour la fiche idée 824. Nous observons que seules les fiches idées 621, 1362 et 346 ont été classées dans le même quartile par les humains et le système.

	Quartiles	Comparaison lexicale réalisée par le système		Comparaison lexicale réalisée par les humains	
		N° Fiche idée	Score BM25	N° Fiche idée	Score Humain
Pertinence des idées par rapport au sujet	Q1	1142	10.2	1490	7/8
		33	7.9	621	7/8
		621	6.00	824	6/8
	Q2	1362	5.99	223	7/8
		1490	4.73	1021	5/8
		213	3.95	1362	6/8
	Q3	56	3.39	346	4/8
		824	2.21	912	3/8
		346	2.14	33	7/8
	Q4	1021	1.52	1490	4/8
		223	0.2	56	5/8
		912	0	213	6/8

Tableau 4.1 : Résultat de la comparaison lexicale système vs humain

En vue de ces résultats, la comparaison lexicale semble insuffisante. En effet seules trois fiches idées sur 12 ont réussi à être classées dans le bon quartile par le système. Nous avons analysé plusieurs raisons à ce résultat :

- Les participants (créatifs) n'utilisent pas toujours le même vocabulaire que l'industriel. Nous avons constaté qu'ils utilisent des mots différents pour exprimer une idée similaire. Le système nécessite donc d'utiliser une approche d'analyse sémantique complémentaire.
- L'équipe humaine n'est pas toujours en accord lorsqu'il s'agit de classer une idée. Par exemple la fiche idée 346 a un score de consensus de 3 votes sur 8 pour être classée dans le quartile Q3. Ce constat exprime une variabilité de l'évaluation des pertinences des fiches idées par les différentes personnes du groupe. Pour prendre en compte ce phénomène, le système devra avoir plusieurs points de vue pertinence. Ces points de vue peuvent être représentés par une classification par domaine. Par exemple plusieurs personnes du groupe ont expliqué que la fiche idée 1021 était pertinente par rapport au sujet uniquement parce qu'elle aborde la problématique d'un thème précis (ici la sécurité) alors que les autres fiches idées ne traitent pas ce problème.

Afin de faire évoluer notre système d'évaluation des idées, nous avons envisagé de combiner trois approches, l'approche lexicale, l'approche sémantique pour enrichir la description d'un sujet et d'une fiche idée en y ajoutant des termes sémantiques associés, et une approche sémantique pour en déduire les domaines similaires émergents d'une idée et d'un sujet.

4.2 Comparaison sémantique

Pour la comparaison sémantique, nous avons réutilisé nos travaux issus de la conception de l'outil d'assistance d'une séance de BrainPurge (section 3.1). Nous appliquons notre méthode d'enrichissement sémantique en recherchant les hyperonymes, hyponymes et les synonymes associés à chaque verbe et nom du texte décrivant le sujet et de la fiche idée. Dans l'assistant du BrainPurge, la comparaison était faite sur l'énoncé du sujet c'est-à-dire sur une phrase alors qu'ici la comparaison sémantique est effectuée sur l'ensemble de la description du sujet, ce qui correspond à un texte d'environ cinq cents mots. La même analyse est conduite sur la centaine de mots que compte une fiche idée.

L'enrichissement sémantique utilisé dans le système d'assistance aux BrainPurge a pour objectif de définir des thèmes pour clusteriser/regrouper les idées. Dans le processus d'évaluation des idées, l'objectif n'est pas la même. Nous cherchons ici à évaluer la pertinence d'une idée par rapport à un sujet en comparant le sujet et l'idée mot à mot (approche lexicale), puis concept à concept (approche sémantique), puis domaine à domaine (approche sémantique). Un concept est un hyperonyme, synonyme ou hyponyme associé à un mot. Dans les trois approches, nous utilisons le modèle BM25 pour obtenir un indice de similarité entre une série de concepts ou une série de domaines.

Suite à notre première expérimentation, nous avons remarqué que nos résultats n'étaient pas probants. En effet la trop grande importance des mots dans la description des sujets et des fiches idées engendre des indices de similarités faibles. L'enrichissement sémantique sur un trop grand nombre de mots élargit les sens possibles pour les fiches idées. Le système utilise des thèmes issus de l'enrichissement qui sont trop éloignés du sens que veulent donner les créatifs à leurs fiches idées.

Nous avons donc été obligés de prendre en compte le sens des mots dans notre approche de recherche de similarité. Le système d'évaluation des idées utilise un processus aboutissant à quatre résultats comme le présente son diagramme d'activité de la figure 4.5 ci-dessous.

Le premier résultat ❶ est d'éliminer des termes qui n'auraient pas de sens communs afin de diminuer la dispersion des scores de similarité dans la comparaison des fiches idées et du sujet. En effet deux termes caractérisant le même sens renforcent le message que souhaitent passer les créatifs avec leur idée. Pour la recherche de sens communs, nous interrogeons la base lexicale WordNet. Dans l'exemple de la fiche idée 1320 de la figure 4.4, le mot « feeling » possède quatre sens dans la base lexicale : « the experiencing of affective and emotional states », « a vague idea in which some confidence is placed », « the general atmosphere of a place or situation and the effect that it has on people » et « a physical sensation that you experience ». Nous effectuons ensuite une recherche de terme ayant au moins un sens commun parmi ceux retournés. Dans le cas de la fiche idée 1320, le mot « impression » possède un sens commun avec le mot « feeling » qui est « a vague idea in which some confidence is placed ». Nous éliminons ensuite tous les termes n'ayant pas un sens commun avec au moins un terme de la fiche idée. Le fait de réduire les sens de la fiche idées permet de diminuer le nombre d'hyperonymes, hyponymes et synonyme lors de l'enrichissement sémantique, et également d'éviter de sélectionner des domaines associés à la fiche idée qui sont trop éloignés du sens souhaité par les créatifs.

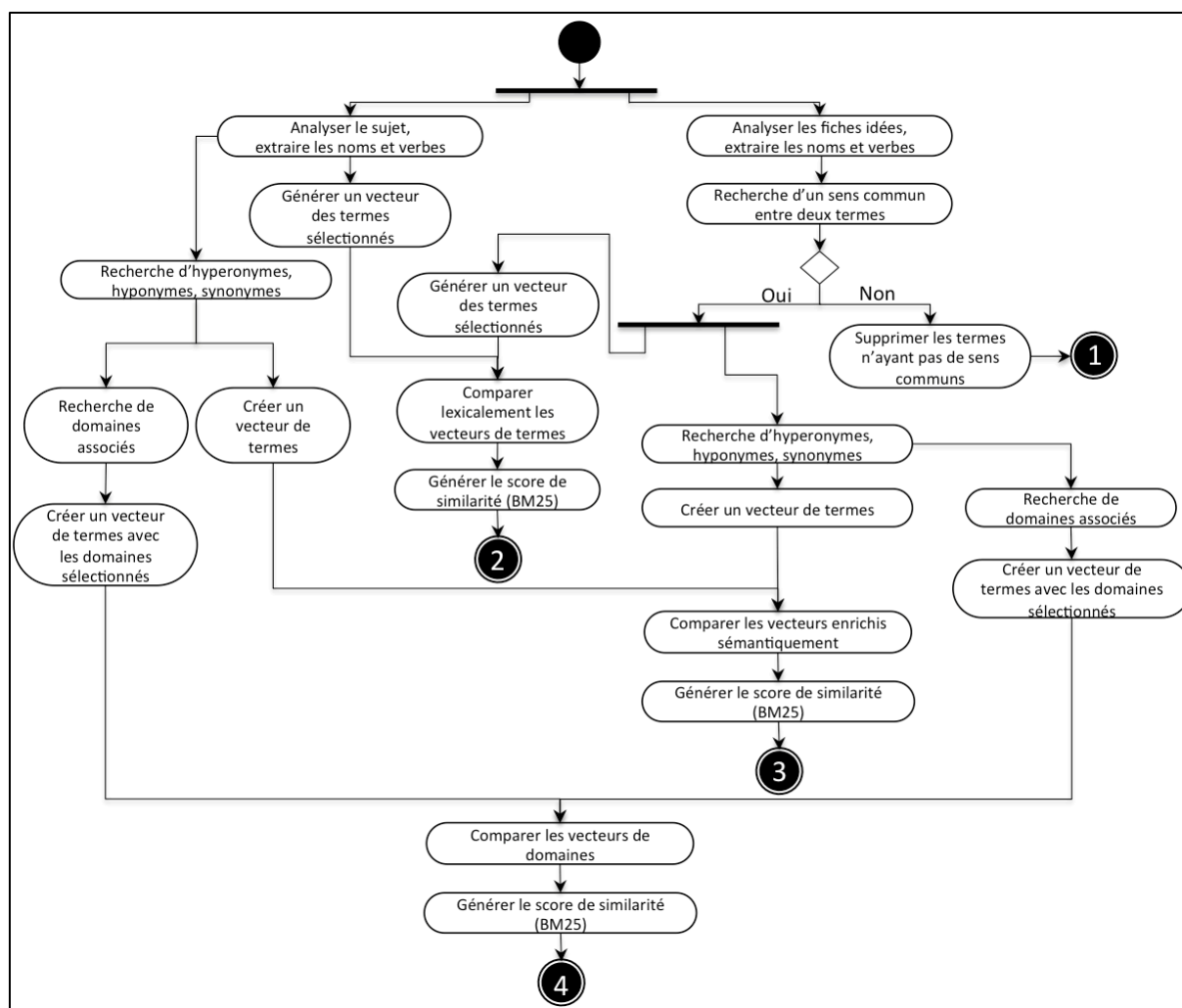


Figure 4.5 : Diagramme d'activité du système d'évaluation des idées

Le second résultat ❷ délivré par le système est de calculer le score de similarité BM25 entre le vecteur de mots issu du sujet et le vecteur issu de la fiche idée auquel nous avons supprimé tous les mots n'ayant pas de sens communs. À partir du score obtenu pour chaque fiche idée, nous classons ces fiches idées par quartile de pertinence.

Le troisième résultat ❸ est le score de similarité entre les vecteurs de « termes sémantiquement enrichis (concepts) » comprenant les hyperonymes, hyponymes et synonymes du sujet et des fiches idée. À cette étape, seuls les mots ayant un sens commun bénéficient d'un enrichissement sémantique avec leurs hyperonymes, hyperonymes et synonymes.

Le quatrième résultat ❹ est le score de similarité entre les vecteurs de domaine des fiches idées et du sujet. Les vecteurs de domaines sont construits à partir de la recherche de domaines communs des termes sémantiquement enrichis. L'ensemble des mots (hyperonymes, hyponymes et synonymes) connectés à un terme permet de déduire un ou plusieurs domaines communs à ces mots grâce à la base lexicale WordNet Domains.

Nous avons ensuite utilisé le même protocole d'expérimentation que pour la comparaison lexicale (section 4.1). Nous avons demandé à l'équipe pilote d'analyser 12 fiches idées et de les classer par quartile de pertinence. Le système a lui aussi effectué cette

opération, en combinant les trois approches ; similarité lexicale, similarité entre les concepts, similarité entre les domaines. Les résultats de l'expérimentation sont présentés dans le tableau 4.2. Le système utilise les résultats des trois scores de similarités pour proposer un classement en quartiles. Lorsqu'une fiche idée est classée plusieurs fois dans un quartile à partir de différentes méthodes de comparaison, alors le système l'intègre dans le quartile. Par exemple la fiche idée 621 apparaît deux fois dans le quartile Q2. Si plusieurs fiches idées apparaissent plusieurs fois dans le même quartile, le système classe les fiches en fonction de la somme de leurs scores. Par exemple les fiches idées 1490 et 824 figurent dans le quartile Q1. La fiche idée 824 est mieux classée puisqu'elle obtient un score de 32,8 (17,1 + 15,7) alors que la fiche 1490 obtient un score total de 26 (7,8 + 18,2).

On observe dans le tableau 4.2 que 8 fiches idées sur 12 sont classées dans les mêmes quartiles que ceux proposés par l'équipe pilote. La méthode de comparaison lexicale (section 4.1) ne donnait que 3 fiches idées correctement classées sur 12. Par conséquent, le résultat obtenu en recherchant le sens des fiches idées ainsi que la comparaison des domaines et par enrichissement sémantique apporte une nette amélioration.

Quartiles	Comparaison Lexicale		Comparaison sémantique		Comparaison des domaines		Classement Proposé	Equipe humaine
	N° Fiche idée	Score	N° Fiche idée	Score	N° Fiche Idée	Score	Classement proposé	Classement
Q1	621	12.1	1490	18.2	346	16.4	824	1490
	1362	9.6	824	17.1	213	15.8	1490	621
	1490	7.8	213	15.4	824	15.7	213	824
Q2	33	7.4	621	15.3	56	14.1	621	213
	1142	7.1	1362	15.1	621	13.7	1362	1021
	213	5.6	1021	14.5	1362	11.5	1021	1362
Q3	346	5.1	33	13.1	1142	11.1	223	346
	1021	4.8	1142	11.2	223	10.3	1142	223
	56	4.2	223	10.8	33	9.4	33	33
Q4	824	3.1	56	9.3	912	7.6	912	1142
	223	1,1	912	5.1	1490	4.3	56	56
	912	0	346	2.1	1021	3.2	346	912

Tableau 4.2 : Résultat de la combinaison des trois approches de comparaison

4.3 Synthèse et analyse (Approche sémantique et créativité)

Nos premiers travaux de recherche sur l'assistance au processus d'innovation, et particulièrement lors des phases de créativité, utilisent des avancées issues du domaine de la recherche d'information telles que l'approche lexicale et sémantique. Ces travaux sont récents et notre premier outil d'assistance aux séances de BrainPurge a été publié dans la conférence internationale ICAIA (Artificial Intelligence and Applications) (Issa et al. 2014). Cet outil

permet de regrouper les idées et de proposer une intelligence artificielle pouvant simuler un participant créatif. Le regroupement des idées et la représentation en nuage de mots ont été jugés pertinents par les créatifs. Toutefois le système nécessite des améliorations sur les termes utilisés par le système. En effet les participants envisagent le terme « produit » alors que le système affiche « équipement ». De plus, certains termes affichés dans le nuage de mots ne correspondent à aucun terme souhaité par les participants. Cela signifie que le nombre de domaines trouvé par le système est trop important. Afin d'améliorer l'outil de BrainPurge nous envisageons de travailler sur l'analyse des sens de chaque terme.

L'IA de l'assistant BrainPurge peut également être améliorée. En effet, l'IA propose des termes qui quelques fois sont utilisés par les créatifs et d'autres fois semblent décalés par rapport à la discussion menée par les participants. Afin de pallier à ce problème, nous envisageons d'intégrer des modèles cognitifs tels que ceux proposés par Casakin (Casakin et al ; 2011), Nijstad (Nijstad et al. 2006) ou Reiter-Palmon (Reiter-Palmon et al. 2008), afin de permettre à l'IA de simuler le raisonnement des créatifs. Les travaux récents de Chen (Chen Z. et al. 2015) sur l'utilisation d'un modèle cognitif pour prévenir les changements d'état des créatifs et éviter l'inhibition de la créativité dans un groupe apportent de nouvelles perspectives pour faciliter la génération d'idée dans les organisations.

Afin de supporter le processus de créativité, nous avons également travaillé sur l'évaluation des idées générées par les créatifs travers l'outil de comparaison lexicale et sémantique. L'utilisation seule de la comparaison lexicale n'apporte pas de résultats pertinents. Cette approche est basée sur la comparaison des fréquences d'apparition du vocabulaire utilisé dans la description d'un sujet proposé par un industriel et des fiches idées proposées par les créatifs. Ils'avère que le vocabulaire utilisé par les créatifs et les industriels n'est pas le même (ils utilisent des termes différents pour parler de choses similaires) ce qui engendre des scores de similarités non probants. Par contre l'analyse des sens associés à chaque terme ainsi que le couplage de différentes approches de comparaison (lexicale, sémantique ou thématique) produisent des résultats intéressants qui sont plus en adéquation avec les résultats proposés par une équipe pilote humaine. Nous pensons pouvoir encore améliorer l'algorithme d'évaluation des idées en permettant au système d'apprendre à comprendre les intérêts humains. Pour ce faire, nous envisageons d'initier le système avec une série d'idées évaluées et classées par les industriels, afin que le système ait une base de référence pour classer les milliers de fiches idées générées.

Les publications et communications suivantes sont accessibles pour plus de détails sur ces travaux de recherche : (Gabriel et al. 2015 - C35), (Gabriel et al. 2015 - C33), (Lahoud et al. 2014 – C31), (Gabriel et al. 2014 – C30), (Issa et al. 2014 – C29), (Monticolo et al. 2013 – C28), (Monticolo et al. 2012 – C24), (Monticolo et al. 2012 – C22)

Chapitre IV

Synthèse des travaux et présentation du projet de recherche

Ce manuscrit synthétise les recherches que j'ai menées ces huit dernières années. Ce chapitre récapitule les contributions majeures dans le domaine de la conception de systèmes multi-agents pour la gestion des connaissances et les approches sémantiques pour exploiter les connaissances. Ce chapitre propose également un projet de recherche centré sur deux thèmes majeurs.

1. Contributions

La présentation de mes travaux de recherche a été structurée suivant trois axes de recherche ; (1) la conception de systèmes multi-agents dédiés à la gestion des connaissances et basés sur l'utilisation d'un modèle organisationnel, (2) l'exploitation des connaissances à travers les ontologies et les approches sémantiques (3) l'utilisation d'approches sémantiques pour supporter le processus de créativité. Ces travaux ont principalement contribué au domaine des systèmes multi agents et de l'ingénierie de la connaissance à travers les applications développées et les expérimentations conduites. De plus, ils ont également contribué au domaine du génie industriel puisqu'ils ont été soit conçus pour des services de recherche et de développement, soit développés dans le cadre de projets de créativité associés à une problématique industrielle.

1.1 Modélisation des organisations humaines et conception de systèmes multi agents dédiés à la gestion des connaissances

Dans le domaine de l'intelligence artificielle, nous développons des systèmes qui simulent l'action des humains ou qui sont inspirés du comportement des humains. Une grande partie de nos travaux a été d'observer, analyser et modéliser des organisations humaines industrielles avant même de concevoir un système intelligent. Je présente les trois points dans lesquels nous avons apporté notre contribution pour ce domaine.

Modélisation des organisations humaines. Ces travaux ont débuté durant ma thèse de 2005 à 2008 avec la proposition du formalisme RIOCK (Role, Interaction, Organisation, Competence, and Knowledge) (Monticolo et al. 2007) pour modéliser des organisations simples. Le formalisme a été repris et il a évolué pour que nous puissions proposer le méta modèle KROM (Knowledge Reuse Organisational Model) (Girodon et al. 2012) adapté à des organisations complexes telles qu'un service de recherche et de développement. Pour nous assurer de la cohérence du méta modèle, nous avons proposé une méthode de modélisation basée sur KROM et expérimenté cette dernière dans plusieurs études industrielles (Monticolo et al. 2015- R13), (Badin et al. 2011, R8), (Badin et al. 2011, C20). Les projets de recherche associés à ces travaux sont le projet Essilor (2013-2015) et le projet ADN (Alliance de Données Numériques) (2010-2013). Ces deux projets ont fourni les terrains d'expérimentation des thèses de Messieurs Julien Girodon et Julien Badin dans le cadre de conventions CIFRE.

Formalisation des connaissances et construction d'ontologie de domaine. Ces travaux ont permis de proposer une approche de développement d'ontologie basée sur la spécification des concepts et de leurs relations sémantiques. Cette méthode a pour objectif d'être basée sur l'élaboration de tableaux de spécifications qui permettent aux experts industriels de comprendre et valider les connaissances qu'ils souhaitent utiliser dans un système à base de connaissances. L'intégralité de la méthode a été soumise à la revue internationale « Data & Knowledge Engineering » en juin 2015 (Monticolo et al. ... - S4). La méthode a été expérimentée dans plusieurs cas de conception d'ontologies de domaine telles que OntoKrom avec l'entreprise Essilor et OntoProcess dans le cadre du projet de recherche avec l'entreprise TDC-Knowledge qui a donné lieu à la réalisation des travaux de thèse de Mademoiselle Hind Darwich dans le cadre d'une convention CIFRE et soutenue en septembre 2014.

Conception de systèmes multi agents dédiés à gestion des connaissances. Notre approche de conception de systèmes multi agents (DOCK) est basée sur le résultat de nos travaux sur la modélisation des organisations humaines et le développement d'ontologies. DOCK a été expérimentée pour développer le système multi-agent SNOTRA (Girodon et al. 2015) dans le projet Essilor et également dans le cas de diverses études industrielles (Monticolo et al. 2014, R13), (Lahoud et al. 2014, C31), (Monticolo et al. 2013, C28).

1.2 Exploitation des connaissances à travers les ontologies

Exploitation des connaissances à l'aide des langages du Web. Les informations et les connaissances créées et utilisées dans les entreprises sont, à ce jour, pour la plupart, assimilées à des ressources du Web, c'est-à-dire qu'elles sont formatées selon les standards du Web. Nous nous sommes donc familiarisés avec les différents langages du Web sémantique afin de pouvoir annoter des informations et exploiter les connaissances structurées dans les ontologies. Nos travaux ont contribué à la réalisation du prototype OCEAN. Cette plateforme a pour objectif d'assister les experts métier à éditer leurs ontologies et à extraire des informations de diverses sources d'information dans l'entreprise. OCEAN fut un des livrables du projet ADN (Alliance de Données Numériques) (2010-2013). Le projet ADN a également permis de financer les travaux de thèse de Mademoiselle Inaya Lahoud soutenue en septembre 2013. Les résultats de ces travaux ont été diffusés dans des revues internationales (Lahoud et al. 2012 – R10), (Monticolo et al. 2011, R9), et des conférences internationales (Lahoud et al. 2014 - C32), (Lahoud et al. 2014 – C31), (Isaa et al. 2014 – C29), (Monticolo et al. 2013 – C28), (Lahoud et al. 2012 – C26), (Lahoud et al. 2012 – C25), (Monticolo et al. 2012 – C23), (Matta et al. 2010 C19).

Exploitation des connaissances par les agents. Étant donné que l'objectif de nos travaux est de concevoir des systèmes de gestion des connaissances en utilisant le paradigme agent, il est important de maîtriser les concepts et règles du Web Sémantique afin d'apporter toute l'efficacité nécessaire aux agents pour exploiter les informations et connaissances. Nos algorithmes d'exploitation des connaissances ont donc été intégrés aux agents à travers leurs rôles et leurs organisations. Ces algorithmes ont prouvé leur efficacité dans la plateforme OCEAN et SNOTRA. Ces travaux sont une partie des résultats des travaux de thèse de Mr Girodon (Girodon et al. 2015), (Monticolo et al. 2014 R13), et de Mlle Lahoud (Lahoud et al. 2012 – R10), (Monticolo et al. 2011, R9).

Réutilisation des connaissances à l'aide des Wiki Sémantiques. Afin de réutiliser les connaissances avec les équipes industrielles, nous avons proposé l'utilisation de Wiki sémantique. En effet les Wikis sont bien connus et sont adaptés à un déploiement dans les entreprises. Nos travaux consistent à élaborer des passerelles entre les ontologies de domaines et les Wiki Sémantiques pour la diffusion, l'évaluation et la mise à jour des connaissances. Les agents ont permis de gérer ces passerelles. Nous avons conçu deux Wikis : Wiki-K associé à la plate forme OCEAN (Lahoud et al. 2014) et Wiki-I (Monticolo et al. 2013) pour gérer des idées.

1.3 Approches sémantiques pour supporter le processus de créativité

Assistance aux séances de générations d'idées à partir d'approches sémantiques. Notre premier travail de recherche dans le domaine de la créativité assistée par ordinateur fut de développer un assistant à la méthode du BrainPurge en utilisant notre expérience sur les approches d'analyse sémantique. L'outil de BrainPurge a été développé dans le cadre du

contrat postdoctoral de Monsieur Fadi Issa d'octobre 2013 à octobre 2014. L'outil a été expérimenté par les étudiants de l'ENSGSI lors du challenge 48 heures pour générer des idées. Les résultats ont été publiés dans la conférence « Intelligence Artificielle et Applications » ICAIA 2014 (Issa et al. 2014 - C29), et la conférence Future Computer and Communication) IFCC 2013 (Monticolo et al. 2013 – C28).

Assistance à l'évaluation des idées. Ces travaux de recherche sont issus de la problématique de l'évaluation par les industriels de la multitude d'idées proposées par les créatifs. Pour faire face à ce problème nous avons développé un outil d'évaluation des idées basé sur la combinaison d'approches de comparaison lexicale sémantique entre un sujet proposé par un industriel et des milliers de fiches idées créés lors d'un challenge de créativité. Cet outil a été développé pour le challenge de créativité « 48 heures pour générer des idées » de l'ENSGSI et dans le cadre du projet de collaboration PROSPECT avec l'École Polytechnique de Montréal. Une partie de ces travaux sont conduits dans le cadre de la thèse de Monsieur Alex Gabriel démarrée en octobre 2013. Les premiers résultats obtenus sont publiés dans les conférences internationales « Innovative Design and Manufacturing » ICIDM 2014 (Gabriel et al. 2014 – C30), « Organizational Creativity International Conference » OCIC 2015 (Gabriel et al. 2015 – C33), « Signal Image Technology et Internet Based System » SITIS 2015 (Gabrien et al. 2015 – C35) et soumise dans la revue internationale « Thinking and Creative Skills » (Grabriel et al. ... - S3).

2. Projet de recherche

Compte tenu des travaux déjà réalisés et présentés dans ce document, l'objectif général de mon projet de recherche futur est de démontrer l'intérêt des systèmes intelligents pour supporter le processus de créativité (thème 1) et d'assister les communautés ouvertes dans le domaine de l'Open Innovation à gérer leurs connaissances (thème 2).

2.1 Vers une plate-forme multi-agents pour supporter le processus de créativité (Thème 1)

Les premiers résultats obtenus pour supporter certaines phases du processus de créativité (génération d'idées/BrainPurge, évaluation des idées), me permettent d'envisager de continuer dans ce domaine et de réfléchir à l'élaboration d'une plate-forme logicielle intelligente capable de supporter l'intégralité du processus collaboratif de créativité mis en place dans des challenges tels que « 48 heures pour générer des idées ».

Comme d'autres compétences humaines, la créativité peut être apprise et enseignée. On observe aujourd'hui un nombre croissant d'entreprises ou d'organismes qui affichent comme objectifs de développer la créativité de leurs employés (Décathlon, EDF, PSA ...). Les ateliers de créativité en entreprise sont apparus récemment et sont de plus en plus nombreux. Chaque atelier exécute un processus de créativité sous l'encadrement d'un expert en créativité. D'autres acteurs sont également impliqués. Ce sont les participants créatifs et les commanditaires. Ces derniers définissent le sujet sur lequel va travailler le groupe de créatifs. Ils collaborent entre eux pour générer des idées qui répondent aux défis de l'atelier. Les experts de la créativité assurent le bon déroulement du processus de créativité en tenant compte des compétences et de l'évolution de la génération des idées par les participants. Les experts combinent différentes méthodes de créativité tout au long des séquences alternant des phases de divergence et de convergence pour rendre les écosystèmes de génération des idées

productifs. Dans ces ateliers, le processus de créativité semble être ouvert et dynamique, c'est-à-dire que les participants entrent ou sortent au sein des groupes, que les groupes se créent dynamiquement et que les relations entre les participants évoluent en continu. En outre, le succès de ces communautés s'appuie sur les principes de collaboration et de partage des ressources, des informations et des connaissances. La confiance est donc un enjeu crucial pour chaque membre (Bidault et al. 2009).

Avec le nombre croissant d'ateliers de créativité et l'importance donnée au domaine de l'innovation, l'objectif principal de ce thème de recherche est d'utiliser les technologies de l'information et de la communication comme support au processus de créativité. Nous proposons de concevoir et développer des méthodes et environnements logiciels qui puissent faciliter la formalisation, la représentation et l'évaluation des idées lors des ateliers de créativité.

2.1.1 Verrous scientifiques

La créativité est un processus de collaboration ouverte et flexible impliquant différents acteurs et méthodes. En outre, son succès dépend fortement de la construction d'une communauté de confiance où les acteurs peuvent échanger des idées. La notion d'idée et le composant principal du processus de créativité. Une idée est une notion abstraite qui peut être partiellement expliquée et qui est suffisamment concrète à étudier, surtout dans le domaine scientifique ou technique, afin d'évaluer sa faisabilité. Par le biais du processus de création, les participants combinent, comparent, évaluent les différentes idées qu'ils génèrent ou celles qui ont été générées par d'autres participants. Ce thème de recherche adresse trois verrous scientifiques distincts qui sont :

- ***Gérer dynamiquement les idées.*** Nous avons tout d'abord besoin de représenter et d'organiser les idées générées par les créatifs lors des ateliers créatifs. Pour ce faire, l'environnement conçu intégrera des méthodes sémantiques de recherche, classification, comparaison, et d'évaluation des idées. Le processus de créativité étant un processus dynamique, nous aurons également besoin de gérer le cycle de vie des idées (annotation, archivage, mise à jour et traçabilité). Répondre à ce premier défi est une étape incontournable pour obtenir un système performant et dynamique en mesure d'assister les groupes de créativité à formaliser et gérer leurs idées.
- ***Faciliter l'application du processus collaboratif d'idéation.*** Afin de prendre en compte ce verrou scientifique, nous devons identifier les modèles de coordination qui peuvent aider les animateurs et les groupes de créatifs à appliquer les méthodes de créativité adaptées aux sujets proposés en combinant des phases de divergence et de convergence pour faciliter la génération et la formalisation des idées. Les modèles de coordination devront être flexibles puisque la créativité est par nature un processus ouvert et évolutif. Ces modèles permettront de concevoir une architecture logicielle qui aboutira à un environnement intelligent basé sur le paradigme agent. En effet, les systèmes multi-agents ont d'ores et déjà prouvé leur efficacité à gérer des tâches complexes de gestion de l'information tout en prenant en compte les aspects coopératifs et sociaux des organisations humaines (Monticcolo et al. 2014).
- ***Assurer des séances de créativité et faciliter la formalisation et la représentation des idées à travers des interfaces adaptées.*** À ce jour les créatifs utilisent des supports papiers pour représenter et échanger leurs idées. Ils ont beaucoup de difficulté à utiliser les dernières avancées technologiques (tables tactiles, tableaux numériques,

tablettes, smartphones, etc.) pour formaliser leurs idées. Cette difficulté est due aux manques d'interfaces tactiles développées et adaptées pour supporter la créativité. Ce troisième défi est donc dédié à la conception et au développement d'interfaces tactiles permettant de supporter le processus collaboratif de créativité à distance ou en présentiel, de manière synchrone et asynchrone. Ces interfaces seront le troisième package qui complétera l'environnement logiciel conçu en plus du package de support à l'idéation (deuxième défi) et du package de gestion dynamique des idées (premier défi).

2.1.2 Contributions scientifiques attendues

Les contributions scientifiques attendues de ce thème peuvent être regroupées en trois axes correspondant aux trois verrous scientifiques précédemment décrits :

- *Gérer dynamiquement les idées générées lors des ateliers de créativité.* Nous devons concevoir et développer un système de management des idées (contribution C1) où ces dernières seront annotées, classifiées, regroupées, évaluées par les groupes de créatifs. Ce système devra utiliser les dernières avancées en analyse et traitement sémantique pour assurer l'ensemble de ses fonctionnalités. De plus, nous proposons de développer une ontologie des idées (contribution C2) qui permettra de définir les liens entre les idées générées par les créatifs et également de les exploiter et représenter. Il n'existe à ce jour que quelques ontologies dédiées à l'innovation et la créativité (Meersman et al. 2010), (Reidl et al. 2009), (Stokes et al. 2009). Cependant, ces dernières sont centrées sur la caractérisation des idées mais ne permettent pas leurs classifications et leurs évaluations.
- *Faciliter le processus d'idéation.* Le système intelligent créé devra également prendre en compte le processus collaboratif de création d'idées (idéation). Nous construirons quatre modèles (contribution C3) définissant les processus utilisés en créativité ; un modèle de divergence et convergence pour la génération d'idée, un modèle d'évolution des idées, un modèle de confiance sur les idées et un modèle d'évaluation des idées. Le système intelligent sera développé en utilisant le paradigme des agents logiciels (contribution C4), où chaque agent utilisera un des quatre modèles pour assister les créatifs à déployer les méthodes de créativité, suivre l'évolution et l'évaluation des idées au sein des groupes de travail et apporter des indicateurs de confiance sur certaines idées.
- *Assurer des séances de créativité et faciliter la formalisation et la représentation des idées à travers des interfaces adaptées.* Dans le cadre de ce travail, nous souhaitons nous inspirer des dernières avancées en plasticité des Interfaces Hommes Machines (López-Ortega et al. 2013), (Coutaz et al. 2012) pour concevoir une interface supportant les interactions multitouches et facilitant la schématisation des idées (contribution C5). L'environnement logiciel sera également doté d'un visualisateur d'idées (contribution C6) qui facilitera la recherche de clusters d'idées et l'échange d'idées à distance aussi bien sur des ordinateurs ou tables numériques que sur des supports mobiles (smartphones, tablettes).

2.1.3 Positionnement du thème de recherche

Positionnement par rapport aux travaux existants. Plusieurs plates-formes dédiées aux domaines de l'innovation et de la créativité ont récemment été proposées (IDEASPACE 2008), (Idea Garden 2012) (Izadi 2013). La plupart d'entre elles fournissent un soutien à l'innovation en gérant un réseau d'acteurs et en permettant à ces derniers de partager des informations sur des produits innovants. Ces systèmes sont déployés sur des plateformes utilisant les technologies du web. C'est une pratique émergente qui a augmenté de façon significative avec la démocratisation de l'Internet et plus particulièrement le web 2.0. Ces environnements logiciels facilitent l'interaction et le partage d'informations et d'idées entre les participants (Albors et al. 2008). Cependant, même si leur objectif principal est de favoriser le processus d'innovation, ils sont basés principalement sur des principes de Crowdsourcing et ne supportent pas le processus de créativité lui-même. Les fonctionnalités de ces systèmes sont limitées à la gestion des groupes de participants et à fournir les informations provenant d'autres participants. D'autre part, certaines plates-formes de recherche ont été proposées pour faciliter la créativité et sont appelées des CSS (Creativity Support System) (Forgione et al. 2007), (López-Ortega et al. 2013). Ces CSS intègrent un modèle cognitif pour soutenir le processus de créativité mais ils ne permettent pas la gestion des idées générées. Les plateformes d'innovation et de créativité existantes ne sont pas adaptées pour supporter l'ensemble du processus de créativité nécessitant de représenter et gérer les idées mais également de supporter les mécanismes de générations d'idées entre les créatifs.

Positionnement par rapport aux travaux du laboratoire ERPI. Depuis plus de dix ans, le laboratoire ERPI travaille sur l'analyse et le développement des processus innovatifs ainsi que l'apport des phases de créativité en phase amont de ce dernier. Le laboratoire ERPI possède des spécialistes des méthodes de créativité, en particulier Mr Raphael Bary. Il anime les ateliers de créativité à l'ENSGSI (Bary et al. 2012), (Camargo et al. 2012) depuis plusieurs années. Mr Bary nous aidera à spécifier les besoins des créatifs pour définir l'environnement d'assistance à la créativité. D'autre part, Mme Laure Morel et Mr Vincent Boly, professeurs à l'ERPI, ont travaillé sur l'évaluation des processus d'innovation dans les entreprises (Boly et al. 2012), (Boly et al. 2014). Leur expertise apportera une aide précieuse sur la spécification des algorithmes d'évaluation et sur la mise en place d'indicateurs de confiance associés aux idées générées. En effet, les idées seront évaluées en fonction des problématiques des entreprises et au sein de leur processus d'innovation.

Par ailleurs, le professeur Mauricio Camargo travaille actuellement sur la mise en place d'analyse multicritères pour évaluer les impacts d'une nouvelle innovation (Enjolras et al. 2015). Les résultats de ses travaux seront utilisés pour la critérisation et la classification des idées par le système intelligent développé. De plus Mr Camargo a également travaillé sur la conception et le développement d'un système multi-agent pour l'évaluation de produits innovants dans un réseau d'acteurs (Toledo et al. 2011) et contribuera à la spécification du système intelligent.

Depuis 2012, l'équipe de recherche réfléchit sur la conception des méthodes et outils supports à l'innovation et à la créativité et nous avons proposé un wiki pour échanger des idées appelé Wiki-I (Monticolo et al. 2012) ainsi qu'un système intelligent pour annoter les idées lors des ateliers de créativité (Monticolo et al. 2014). En 2014, nous avons travaillé avec Mr Fadi Issa, docteur en Informatique, dans le cadre d'un contrat post-doctoral pour la

conception d'un outil sémantique pour assister des séances de « BrainPurge » (Issa et al. 2013).

De plus, depuis novembre 2013, nous avons démarré la thèse de Mr Alex Gabriel, encadrée par le professeur Mauricio Camargo et Mr Davy Monticolo sur l'analyse et la conception de nouveaux outils pour supporter les phases du processus de créativité. Ces travaux de recherche ont déjà permis d'établir un état de l'art exhaustif des systèmes existants supportant la créativité ainsi que de réaliser un démonstrateur pour valider l'importance des approches sémantiques et du traitement automatique des langues pour formaliser, comparer, regrouper et classifier les idées (Gabriel et al. 2014). Ces travaux ont validé la pertinence de nos choix de recherche pour ce thème à savoir l'utilisation des approches sémantiques et l'utilisation des systèmes multi-agents.

Dernièrement, le laboratoire ERPI a développé un portail Web appelé « Innovation Maker ». Ce site permet aux créatifs de sauvegarder une description de leurs idées au format texte. Le site n'apporte pas à ce jour d'assistance au processus d'idéation et à la gestion des idées mise à part leur stockage. À ce jour, l'ensemble des outils logiciels que nous avons conçus (Wiki-I, système intelligent pour supporter la créativité, outil de « Brain Purge », outil sémantique de regroupement des idées) ont permis de valider quelques concepts de recherche mais ne sont qu'à l'état de démonstrateurs et ne peuvent pas être déployés sur un nombre important d'utilisateurs ou sur des supports numériques différents (tables tactiles, tablettes, Smartphones) ou encore lors de séances de travail à distance. Leur utilisation avec des industriels n'est pas à ce jour possible du fait de leur rendu « non professionnel » (design simpliste des interfaces, lenteur des processus de traitement de l'information, manque de fonctions d'assistance aux utilisateurs, etc.). Ce thème de recherche a pour objectif de pallier à ce manque en développant des méthodes et outils logiciels pour supporter le processus collaboratif de créativité et de permettre ainsi au laboratoire de conserver sa place de leader dans cette thématique de recherche.

2.2 Gestion des connaissances dans les sociétés ouvertes et dans le cadre de l'« Open Innovation ». Concevoir une approche basée sur l'utilisation de systèmes intelligents et sur les avancées du Web Sémantique (Thème 2).

Les travaux de recherche que nous avons conduits sur la modélisation des organisations humaines ont toujours été centrés sur des organisations bien structurées tels que les équipes projet ou des services d'entreprise. Dans le domaine de l'open innovation et des communautés ouvertes, les organisations sont dynamiques c'est-à-dire que les rôles, les compétences, les interactions, les processus métiers et les connaissances évoluent continuellement. Ce second thème de mon projet de recherche propose d'aborder la problématique de la gestion des connaissances dans ces communautés ouvertes.

2.2.1 Open Innovation et communautés ouvertes

Le siècle dernier s'est illustré par une accélération considérable du développement de nouvelles technologies et de nouveaux produits. L'innovation est devenue l'une des caractéristiques essentielles des économies. Les PME ainsi que les grands groupes industriels sont de plus en plus innovants. Les innovations sont représentées par le développement de produits nouveaux, de nouveaux moyens de production, ou par la mise en place de nouvelles formes d'organisation. Elles consistent dans l'application de nouvelles technologies dans de nouveaux domaines, dans la découverte de nouveaux matériaux et dans l'ouverture de nouveaux marchés.

Aujourd'hui, l'innovation s'ouvre, elle ne se développe pas uniquement à l'intérieur de l'entreprise, mais à travers son réseau c'est-à-dire l'interconnexion entre les différents acteurs externes et internes de l'entreprise. L'« Open Innovation » (innovation ouverte) désigne un modèle d'entreprise qui a adapté sa stratégie d'innovation afin de tirer le meilleur parti de son environnement extérieur (Chesbrough 2003). C'est un mode d'innovation basé sur le partage, la coopération en réseau entre entreprises. C'est à la fois compatible avec une économie de marché (via les brevets et licences) ou d'Intelligence économique. Ce fonctionnement permet aussi des démarches basées sur des alternatives éthiques ou solidaires (économie solidaire) de partage libre des savoirs et savoirs faire modernes ou traditionnels, via notamment l'utilisation de licences libres dans un esprit dit ODSOS (Open Data, Open Source, Open Standards) (Duval et al. 2014).

L'innovation ouverte conduit donc à la mise en place d'organisations basées sur l'échange et le partage à travers des réseaux d'acteurs, de partenariats et de communautés d'innovation élargies. Au sein de ces communautés se regroupent des acteurs d'origines différentes, publics ou privés, partageant une même vision et des objectifs communs. Les acteurs échangent donc une partie de leurs connaissances et savoirs faire pour atteindre des objectifs communs. Le processus d'innovation ouverte est encore à ce jour un champ d'analyse et d'expérimentation. Les formes observées sont très diverses, depuis les collaborations simples jusqu'à la mise en place d'écosystèmes complexes. La gouvernance de ces sociétés dédiées à l'innovation est à géométrie variable : clubs ouverts, cercles fermés, alliances thématiques, oligopoles (figure 4.1).

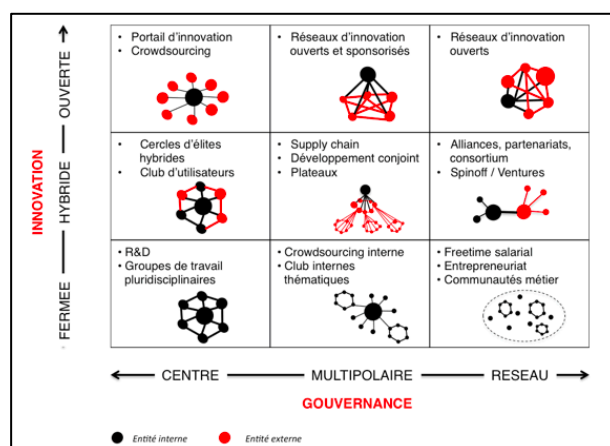


Fig 4.1. Typologie des modèles d'innovation (Saebi et al. 2014)

2.2.2 Verrous scientifiques

Les sociétés ouvertes sont constituées d'un grand nombre de personnes (spécialistes, amateurs, internautes) et peuvent agir avec un nombre de connaissances limitées et sans qu'aucun des acteurs n'ait en sa possession la vérité ultime. Les acteurs des communautés ouvertes rencontrent des difficultés à faire la différence entre la gestion des données, des informations, des connaissances et particulièrement celles qui sont explicites ou celles qui sont tacites. La technologie et en particulier les sources d'information et leurs flux évoluant de plus en plus rapidement, la garantie d'une stratégie de gestion des connaissances pérenne dans l'entreprise est à ce jour impossible. Cette problématique rend difficile la spécification d'une approche permettant de détecter les besoins en connaissances des acteurs et de les gérer. En effet, les méthodes traditionnelles de modélisation des connaissances sont basées sur

le fait que les connaissances du domaine et les acteurs qui les créent et les partagent sont stables à un instant donné, ce qui n'est pas le cas pour les sociétés ouvertes. Nous avons donc besoin ici d'un paradigme qui soit en mesure d'apporter des réponses à la gestion des connaissances hétérogènes et distribuées dans un environnement dynamique. Les connaissances créées sont elles-mêmes dynamiques puisqu'elles évoluent très rapidement et peuvent être diffusées de manière extrêmement rapide à travers les réseaux liés aux sociétés ouvertes et de plus en plus à travers le Web.

De plus, nous pouvons préciser que les individus, qu'ils soient dans une société ouverte ou dans l'entreprise, ont pour objectif principal leur développement personnel. Du point de vue individuel, le système de gestion des connaissances doit mettre à disposition des outils innovants et intelligents pour faciliter le partage des connaissances et savoirs faire des acteurs métier. Du point de vue organisationnel, le système doit fournir des outils et méthodes permettant de supporter le cycle de vie des connaissances, à savoir, la création, la capitalisation, la diffusion, la réutilisation, la mise à jour et l'évaluation.

À partir de ces différentes problématiques, il est judicieux de se poser la question de comment concevoir des systèmes de gestion des connaissances qui puissent prendre en compte les aspects individuels et organisationnels au sein des sociétés ouvertes tout en veillant à ce que ces derniers possèdent l'ensemble des propriétés énumérées, à savoir, être dynamique et flexible ?

Nous pouvons observer, suite à ces problématiques, deux verrous scientifiques majeurs :

- Un premier verrou scientifique lié à la gestion des connaissances dans les sociétés ouvertes illustré par la nature dynamique, hétérogène et distribuée des connaissances issues du Web et utilisées dans ce domaine.
- Un second verrou scientifique lié à la complexité organisationnelle des sociétés ouvertes où les connaissances sont créées par des acteurs qui peuvent contribuer de façon éphémère ou pérenne à ces communautés, et qui communiquent aussi bien au niveau de groupes restreints que de cercles de plusieurs milliers d'internautes. Ce second verrou doit être considéré en prenant en compte les aspects sociaux et coopératifs des créateurs et utilisateurs de connaissances, ainsi que les nouveaux usages d'échanges et de partages à travers Internet.

Cette thématique de recherche est intentionnellement limitée au domaine des technologies de l'information et de la communication. Nous n'aborderons pas ici des aspects tels que la problématique des propriétés intellectuelles dans ces communautés ouvertes.

2.2.3 Contributions attendues

Ces travaux de recherche ont pour objectif d'apporter des contributions sur les deux verrous mentionnés précédemment. Le projet a pour finalité de concevoir un environnement logiciel intelligent pour supporter la gestion des connaissances dans les sociétés ouvertes. En lien avec les verrous scientifiques précédemment cités, le premier objectif du projet sera d'intégrer des modèles facilitant l'extensibilité et la flexibilité de l'environnement de gestion des connaissances. En effet, ces travaux conduiront à concevoir et développer un environnement logiciel intelligent (deuxième objectif) qui sera extensible, c'est-à-dire qu'il ne faut pas figer son architecture afin que celui-ci puisse accueillir de nouveaux modules, de nouvelles entités logicielles et de nouvelles interactions qui sont à l'image de l'évolution des

sociétés ouvertes. Dans ce type d'architecture, le système doit également devenir flexible, c'est-à-dire être en mesure d'accueillir de nouvelles connaissances sans pour autant déstabiliser les interactions et connaissances déjà gérées.

Suite au constat que les sociétés ouvertes utilisent pleinement les nouvelles technologies de l'information pour communiquer, l'environnement intelligent devra également posséder la propriété de l'interopérabilité et l'adaptabilité (troisième objectif) pour assurer un accès à l'information sur tout support, à tout endroit et à tout instant. La propriété d'adaptabilité s'illustrera par la mise en place d'un environnement adapté facilitant le dépôt de nouvelles connaissances et leurs mises en forme en vue de leur réutilisation (présentation de processus, formulaire de e-learning, glossaire métier, mémoire de projet, etc.)

2.2.4 L'approche proposée

Comme nous l'avons expliqué précédemment, pour concevoir un système de gestion des connaissances adapté aux sociétés ouvertes, il est important de considérer le point de vue « individuel », le point de vue du groupe ou organisationnel et un point de vue plus large qui est celui des sociétés ouvertes (Moldoveanu 2000, Saebi et al. 2014). Nous proposons d'utiliser une approche organisationnelle pour la conception d'un système multi-agent prenant en compte les aspects individuels (rôles, compétences, etc) et le traitement des informations complexes. Nos méthodes de modélisation devront être repensées afin de prendre le caractère dynamique des organisations qui composent les sociétés ouvertes.

D'autre part, pour chacun des différents points de vue (individuel, groupe) les acteurs utilisent et partagent des connaissances provenant de sources d'information et de formats différents (Grabot et al. 2014). Aujourd'hui la diffusion des données, informations et connaissances dans les sociétés ouvertes est réalisée par le biais du Web à travers les réseaux sociaux et les communautés de Crowdsourcing (Huff et al. 2013). Afin de traiter ce verrou scientifique, nous proposons d'utiliser une approche basée sur l'utilisation des langages du web sémantique pour faciliter l'identification, la description, la formalisation, la sauvegarde et l'exploitation des connaissances issues des sociétés ouvertes.

En effet, les sociétés ouvertes utilisent l'ensemble des canaux de communication du Web ce qui représente une base gigantesque de données, d'informations et de connaissances. La problématique actuelle est de pouvoir définir quelles sont les connaissances pertinentes dont l'acteur de l'innovation a besoin. De plus, le Web étant un système dynamique, le nombre impressionnant de données déposées chaque seconde via le cloud (Ovadia 2013) ou les réseaux sociaux (Nettleton 2013) accentue la problématique de l'accessibilité, du repérage et de l'annotation des connaissances dans les sociétés ouvertes.

La vision du Web Sémantique de Berners Lee (Berners-Lee 2001) consiste à fournir un ensemble de langages pour enrichir les pages Web afin de décrire le sens de leurs contenus et ainsi faciliter leur compréhension par les systèmes de traitement de l'information. De par ce fait, le Web est passé d'une simple collection de pages Web au format HTML à un ensemble de programmes construits sur des langages différents (XML, RDF,...) procurant ainsi de nombreuses fonctionnalités à travers l'utilisation de plusieurs protocoles de communication.

2.2.5 Positionnement du thème de recherche par rapport aux thématiques du laboratoire ERPI.

Les membres du laboratoire ERPI, en partenariat avec l'École Nationale Supérieure en Génie des Systèmes et de l'Innovation, organisent et animent, chaque année depuis 2000, le challenge « 48 heures pour générer des idées », qui est une illustration d'une organisation de sociétés ouvertes où un millier d'étudiants français et étrangers collaborent durant 48 heures pour répondre à une question industrielle en proposant des idées innovantes.

De plus, en 2014, l'ERPI a créé une communauté ouverte autour du FabLab appelée le Lorraine Fab Living Lab qui regroupe des spécialistes et amateurs partageant leurs connaissances et savoirs faire dans la conception et le développement de produits innovants en utilisant des technologies de prototypages rapides.

Le projet de recherche proposé bénéficie ainsi de deux structures d'expérimentation pour observer et analyser des sociétés ouvertes. En effet la communauté du Fab Living Lab ainsi que le challenge de créativité représentent un cadre idéal pour pouvoir modéliser le fonctionnement des sociétés ouvertes et innovantes en vue de spécifier des systèmes intelligents facilitant le partage et la diffusion des connaissances à travers les technologies du Web.

Les thématiques de recherche liées au domaine de l'« Open Innovation » sont nouvelles pour le laboratoire ERPI, une première thèse vient d'être soutenue en 2014 (Steiner 2014) sur l'analyse des organisations dans les sociétés ouvertes et innovantes. Les premiers résultats ont été publiés dans la revue internationale « Journal of Innovation Economics & Management ». Le thème proposé permet ainsi de poursuivre et étendre les travaux de recherche lié à l'« Open Innovation » en abordant la problématique de la gestion des connaissances dans ces communautés innovantes.

Bibliographie

Akerkar, R. 2009. Foundations of the Semantic Web: XML, RDF and Ontology. New Delhi: Narosa Publishing House.

Albors J., Ramos J.C., Hervas J.L., 2008. New learning network paradigms: Communities of objectives, crowdsourcing, wikis and open source. *International Journal of Information Management*. 28(3), pp. 194–202.

Almeida Maria Vaz, Soares António Lucas, « Knowledge sharing in project-based organizations: Overcoming the informational limbo » *International Journal of Information Management*, Volume 34, Issue 6, December 2014, Pages 770-779

Amabile, T. 1983. The social psychology of creativity: A componential conceptualization. *Journal Of Personality And Social Psychology* Volume: 45 Issue: 2 ISSN: 0022-3514

Amyot, D., Ghanavati, S., Horkoff, J., Mussbacher, G., Peyton, L., & Yu, E. (2010). Evaluating goal models within the goal-oriented requirement language. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(8), 841-877.

Ang C. L., Gay R. K., Khoo L. P. & Luo, M. A knowledge-based Approach to the Generation of IDEF0 Models. *International Journal of Production Research*, 35, 1385-1412, 1997

Armstrong, M. (2009). *Armstrong's Handbook of Human Resource Management Practice* (11th ed.). London/Philadelphia: Kogan Page. 1088 p.

Astrova, I., Korda, N., Kalja, A., 2007. Storing OWL Ontologies in SQL Relational Databases, in: *World Academy of Science, Engineering and Technology* 29.

Augier M., The early evolution of the foundations for behavioral organization theory and strategy, in *European Management Journal* (2013) 31, 72– 81

Aumueller D., Auer S., Towards a semantic wiki experience—desktop integration and interactivity in WikSAR, in: *Proceedings of the Workshop on Semantic Desktop*, Galway, Ireland, 2005.

Azevedo C. L.B., Iacob M. E., Almeida J. P., Van Sinderen M., Ferreira Pires L., Guizzardi G., Modeling resources and capabilities in enterprise architecture: A well-founded ontology-based proposal for ArchiMate, in *Information Systems*, May 2015

Azzini A., Ceravolo P., Damiani E., Zavatarelli F.: Knowledge Driven Behavioural Analysis in Process Intelligence. *ATAED@Petri Nets/ACSD 2015*: 97-111

Azzini A., Ceravolo P., Damiani E., Scarabottolo N., Zavatarelli F., Vicari C., Savarino V.: Heterogeneous Business Process Management: A Metamodel-Based Approach. *KMO 2015*: 73-86

Bachimont B., "Engagement sémantique et engagement ontologique: conception et réalisation

d'ontologies en ingénierie des connaissances"; In "Ingénierie des connaissances Evolutions récentes et nouveaux défis", Jean Charlet, Manuel Zacklad, Gilles Kassel, Didier Bourigault; Eyrolles 2000, ISBN 2-212-09110-9

Badin J., Monticolo D., Chamoret D., Gomes S., "Knowledge configuration management for product design and numerical simulation", in the International Conference on Engineering Design, Copenhagen, Denmark, August 2011

Badr Y., Chbeir R., Abraham A., Hassanien A-E., (2010), Emergent Web Intelligence : Advanced Semantic Technologies, ISBN 978-1-84996-077-9, Springer Eds. XVI, 544p.

Baker T., Bechhofer S., Isaac A., Miles A., Schreiber G., Summers Ed., (2013), Key choices in the design of Simple Knowledge Organization System (SKOS), in the international journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Volume 20, May 2013, Pages 35-49

Bakker R. M., and Janowicz-Panjaitan M., (2009), Time matters: the impact of 'temporariness' on the functioning and performance of organizations, in Temporary Organizations, Prevalence, Logic and Effectiveness, Edward Elgar Publishing Limited.

Bagić Babac, M., & Jevtić, D. (2014). AgentTest. Neurocomputing, 146(C), 230-248.

Baljak, V. et al., 2012. S-CLAIM: An Agent-based Programming Language for AmI, A Smart-Room Case Study. Procedia Computer Science, 10, pp.30–37.

Bandini S., Bonomi A., Vizzari G., Acconci V., Self-organization models for adaptive environments: Envisioning and evaluation of alternative approaches, Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 18, Issue 10, November 2010, Pages 1483-1492

Bao, P., Gerber, E., Gergle, D., Hoffman, D., 2010. Momentum: getting and staying on topic during a brainstorm, in: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'10). ACM, pp. 1233–1236.

Barbosa J., Leitão P., Adam E., Trentesaux D., Dynamic self-organization in holonic multi-agent manufacturing systems: The ADACOR evolution, Computers in Industry, Volume 66, January 2015, Pages 99-111

Bary R., Tani M., Morel L. Developping the managerial life skills for tomorrow's engineers : the analysis of ten years experience in personal facilitation in a French engineering school. European Journal of Engineering Education.(2012)

Bauer, J., & Gruber, H. (2007). Workplace changes and workplace learning: Advantages of an educational micro perspective. Journal of Lifelong Education, 26, 675-88.

Baumard, P., 1996. Organizations in the Fog□: An Investigation into the Dynamics of Knowledge. In B. Edmondson & A. Moingeon, eds. Organizational Learning and Competitive Advantage. London, pp. 74–91.

Bechhofer S., Goble C., (2001), Thesaurus construction through knowledge representation, in

international journal of Data & Knowledge Engineering, Volume 37, Issue 1, April 2001, Pages 25-45

Beckett D. and Broekstra J.. (2008, January) SPARQL Query Results XML Format, W3C Recommendation. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-XMLres/>

Ben Miled A., Monticolo D., Hilaire V. and Koukam A. “An Approach for Building Holonic Organizational Models of Design Processes for Knowledge Management”, in the 30th International Conference on Application and Theory of Petri Nets and Other Models of Concurrency, 14p., Paris, France, June 2009

Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O.: The Semantic Web. Scientific American 284(5), 34–43 (2001)

Biasutti M., EL-Deghaidy H., « Using Wiki in teacher education: Impact on knowledge management processes and student satisfaction », Computers & Education, Volume 59, Issue 3, November 2012, Pages 861-872

Bidault, F. and Castello, A. 2009. Trust and creativity: understanding the role of trust in creativity-oriented joint developments. R&D Management. 39, pp. 259–270. doi: 10.1111/j.1467-9310.2009.00557

Bitter-Rijkema, M., Sloep, P. B., Sie, R., Van Rosmalen, P., Retalis, S. & Katsamani, M. (2011)

Boden, M.A., 2009. Computer models of creativity. AI Mag. 30, 23–34.

Begoña Montero-Fleta, Carmen Pérez-Sabater, « Knowledge construction and knowledge sharing: a Wiki-based approach », in Social and Behavioral Sciences, Volume 28, 2011, Pages 622-627

Boeddrich, H.-J. (2004). Ideas in the Workplace: A New Approach Towards Organizing the Fuzzy Front End of the Innovation Process. Creativity and Innovation Management, 13 (4), 274-85.

Boly V., Morel L., Camargo M. Improving Performance Evaluation Metrics to Manage Innovative Projects. Int. J. of Technology Intelligence and Planning. (2012) Volume 8, No 3, pp. 215-233.

Boly V., Morel L., Assielou G., Camargo M. Evaluating innovative processes in french firms: methodological proposition for firm innovation capacity evaluation Research Policy, (2014) Volume 43, Issue 3, 608-622;

Bonjour E., Geneste L., Bergmann R., Enhancing experience reuse and learning. Knowl.-Based Syst. 68: 1-3 (2014)

Bonjour E., Dulmet M., Lhote F., An internal modeling of competency, based on a systemic approach, with socio-technical systems management in view, Systems, Man and Cybernetics, 2002 IEEE International Conference on; 11/2002, 10p.

Braglia M., Frosolini M., (2014), An integrated approach to implement Project Management Information Systems within the Extended Enterprise, in *International Journal of Project Management*, Volume 32, Issue 1, January 2014, Pages 18-29

Bretier, P., Sadek, D.: A rational agent as the kernel of a cooperative spoken dialogue system: implementing a logical theory of interaction. In: Muller, J., Wooldridge, M., Jennings, N. (eds.) *Intelligent Agents III: Agent Theories, Architectures and Languages (ATAL)*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, vol. 1193, pp. 189–203. Springer, Berlin (1997)

Broekstra J. and Kampman A.. SeRQL: An RDF Query and Transformation Language. Submitted to the International Semantic Web Conference, ISWC 2004, 2004.

Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard business review*, 86(6), 84.

Buffa M., Intranet Wikis, in: *Proceedings of the Intranet Workshop, 15th International Conference on World Wide Web*, Edinburgh, Scotland, 2006.

Camargo M., Bary R., Skiba N., Boly V., Smith R. Studying the Implications and Impact of Smartphones on Self-Directed Learning Under a Living Lab Approach. *International Journal of Product Development* (2012), Vol.17, Nos 1/2. pp.119-138.

Carley, K.M., 2002. Computational organization science: a new frontier. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 Suppl 3(1), pp.7257–7262.

Caron, P.-A., 2007. Ingénierie dirigée par les modèles pour la construction de dispositifs pédagogiques sur des plateformes de formation. Université des Sciences et Technologie de Lille - Lille I.

Casakin H., Kreidler S., The cognitive profile of creativity in design, *Thinking Skills and Creativity*, Volume 6, Issue 3, December 2011, Pages 159-168

Cervenka, R. and Trencansky, I., 2007. AML: The Agent Modeling Language, A comprehensive Approach to Modeling Multi-Agent Systems, Berlin: Birkhäuser Verlag AG, Basel • Boston • Berlin.

Chai S., Kim M., An extended attribute based access control model with trust and privacy: Application to a collaborative crisis management system, *Future Generation Computer Systems*, Volume 31, February 2014, Pages 147-168

Chang C. M., New organizational designs for promoting creativity: A case study of virtual teams with anonymity and structured interactions, *Journal of Engineering and Technology Management*, Volume 28, Issue 4, October–December 2011, Pages 268-282

Chen, A., Liu, L., Shang, J., 2012. A Hybrid Strategy to Construct Scientific Instrument Ontology from Relational Database Model, in: *2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM)*. Presented at the 2012 International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), pp. 25–33

- Chen B., Linz David D., Cheng Harry H., (2008), XML-based agent communication, migration and computation in mobile agent systems, *Journal of Systems and Software*, Volume 81, Issue 8, August 2008, Pages 1364-1376
- Chen, M-H., & Kaufmann, G. (2008). Employee Creativity and R&D: A Critical Review. *Creativity and Innovation Management*, 17 (1), 71-76.
- Chen M. Y., Huang M. J., Cheng Y. C. (2009), Measuring knowledge management performance using a competitive perspective: An empirical study, in *Expert Systems with Applications* vol.36 pages 8449–8459.
- Chen L., Fong P. S. W., Evaluation of knowledge management performance: An organic approach, *Information & Management*, Volume 52, Issue 4, June 2015, Pages 431-453
- Chen Z, Jia X., Xiao Z., A computational cognitive model of user applying creativity technique in creativity support systems, in *Information Technology and Quantitative Management (ITQM 2015)*, *Procedia Computer Science* 55 (2015) 818 – 824.
- Chesbrough, Henry (2003) *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Boston: Harvard Business School Press.
- Chiprianov, V., 2012. Collaborative Construction of Telecommunications Services. An Enterprise Architecture and Model Driven Engineering Method. *Télécom Bretagne, Université de Bretagne-Sud*.
- Chungoora N., Young R., Gunendran G., Palmer C., Usman Z., Anjum N., Cutting-Decelle A. F., Harding J., Case K., A model-driven ontology approach for manufacturing system interoperability and knowledge sharing, *Computers in Industry*, Volume 64, Issue 4, May 2013, Pages 392-401
- Clet E., Maders H. P., Leblanc J. et Goldfarb M., *Le métier de chef de projet*, Editions Eyrolles, 20 novembre 2013
- Clark K. G., Feigenbaum L., and Torres E.. (2008, January) W3C Recommendation. <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-protocol/>
- Clayphan A., Collins A., Ackad C., Kummerfeld B., Kay J., Firestorm: a brainstorming application for collaborative group, work at tabletops, Technical report 678, ISBN 978-1-74210-207-8
- Clinchant S. & Gaussier E.. Bridging language modeling and divergence from randomness models : A log-logistic model for IR, *ICTIR 2009*.
- Corby, O., Dieng-Kuntz, R., Gandon, F., & Faron-Zucker, C. (2006). Searching the semantic web: Approximate query processing based on ontologies. *Intelligent Systems, IEEE*, 21(1), 20-27.
- Corcho, O., Fernández-López, M., & Gómez-Pérez, A. (2002), “Methodologies, tools and languages for building ontologies. Where is their meeting point?” *Data and Knowledge Engineering* , Vol. 46, no. 1, pp. 41–64.

Coutinho, L., Brandão, A., Sichman, J. & Boissier, J. (2008). Model-driven integration of organizational models. Paper presented at the Ninth International Workshop on Agent Oriented Software, held at AAMAS 2008, Estoril, Portugal.

Coutinho, L., Brandão, A., Sichman, J. & Boissier, J. (2009). Modelling Dimensions for Agent Organizations, in Multi-Agent Systems, Semantics and Dynamics of Organizational Models, Information Science Reference, IGI Global, ISBN 978-1-60566-256-5

Coutaz, J., Calvary, G. 2012. HCI and Software Engineering: Designing for User Interface Plasticity. In « The Human-Computer Interaction Handbook : Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications », Chapter 56, Sears, A. & Jacko, J.A. Eds, Human Factors and Ergonomics Book Series, Taylor & Francis, May 2012

Cowan Benjamin R., Jack Mervyn A., « Exploring the wiki user experience: The effects of training spaces on novice user usability and anxiety towards wiki editing », Interacting with Computers, Volume 23, Issue 2, March 2011, Pages 117-128

Curbera, F., Nagy, A., Weerawarana, S.: Web services: Why and how? In: Proceedings of the OOPSLA 2001 Workshop on Object-Oriented Web Services (2001)

Daconta, M. C., Obrst, L. J., Smith, K. T. (2003): The Semantic Web. A Guide to the Future of XML, Web Services and Knowledge Management, Indianapolis (IN), USA 2003

Damiani E., Gianini G., Leida M.: Toward behavioral business process analysis. CEC 2015: 2347-2353

Damanpour, F., Aravind, D., 2012. Organizational structure and innovation revisited: from organic to ambidextrous structure, in: M.D. Mumford (Ed.), Handbook of Organizational Creativity. Academic Press, San Diego, pp. 483–513.

Darja F, Sagot Benoît S. (2015). Constructing a poor man's wordnet in a resource-rich world. Language Resources and Evaluation

Dhombres, F., Vandenbussche, P.-Y., Rath, A., Hanaeur, M., Olry, A., Urbero, B., Choquet, R., Charlet, J., 2012. Projet OrphaOnto - Première étape de l'ontologisation des bases de connaissances d'Orphanet, in: Actes de IC2011. Chambéry, France, pp. 573–588.

De Abreu Netto M., Dos Santos Neto B., De Lucena C., A Pattern-Based Framework for Building Self-Organizing Multi-Agent Systems, Advances in Artificial Transportation Systems and Simulation, 2015, Pages 21-35

De Meo P., Garro A., Terracina G., Ursino D., (2007), Personalizing learning programs with X-Learn, an XML-based, “user-device” adaptive multi-agent system, in Information Sciences, Volume 177, Issue 8, 15 April 2007, Pages 1729-1770

Demazeau Y., Emilio Cochado, Franck Dignum (2010), Trends in Practical Applications of Agents and Multiagent Systems, in Advances in Intelligent and Soft Computing, Springer.

De Nicola A., Missikoff M., Navigli R., A software engineering approach to ontology

building, *Information Systems*, Volume 34, Issue 2, April 2009, Pages 258-275

Derhami V., Khodadadian E., Ghasemzadeh M., Zareh Bidoki A. M., Applying reinforcement learning for web pages ranking algorithms, *Applied Soft Computing*, Volume 13, Issue 4, April 2013, Pages 1686-1692

Dignum V., *Handbook of Research on Multi-Agent Systems: Semantics and Dynamics of Organizational Models*, IGI Global 2009, ISBN 978-1-60566-256-5.

Djurić D., Gašević D., Devedžić V., (2005), Ontology modeling and MDA, *Journal of Object technology* 4 (1), 109-128

Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D., & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103-120.

Eckard, Emmanuel; Barque, Lucie; Nasr, Alexis et Sagot, Benoît (2012). Dictionary-Ontology Cross-Enrichment. Using TLFi and WOLF to enrich one another , *Proceedings of the COLING Workshop on Cognitive Aspects of the Lexicon (CogALex 2012)*

Enjolras M., Galvez D., Camargo M., Morel L. Supporting SMEs' IP Capabilities: Impact Study of INPI Pre-Diagnosis Through the Use of the AIDA approach. *World Patent Information*. Volume 40, pages 21-29 (2015)

Euzenat J., Roşoiu M. E., Trojahn C., Ontology matching benchmarks: Generation, stability, and discriminability, *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Volume 21, August 2013, Pages 30-48

Fabkam, C., Bellatreche, L., Dehainsala, H., Ait Ameer, Y., Pierra, G., 2009. SISRO, conception de bases de données à partir d'ontologies de domaine. *Techniques et sciences informatiques* 28, 1233–1261.

Fahad M., Moalla N., Bouras A., Abdul Qadir M., Farukh M.: Towards Classification of Web Ontologies for the Emerging Semantic Web. *J. UCS* 17(7): 1021-1042 (2011)

Fensel, D. (2004): *Ontologies: A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*, 2nd edition, Berlin 2004

Ferber, J. (1997). Les systemes multi-agents : un aperçu general. *Technique et science informatiques*, 16(8) :979–1012.

Ferber J. and Gutknecht O., A Meta-Model for the Analysis and Design of Organizations in Multi-Agent Systems, in *Proceedings of the Third International Conference on Multi Agent Systems (ICMAS98)*, Paris, France, 3 - 7 July, 1998

Ferber, J., Gutknecht, O., & Michel, F. (2004). From agents to organizations: an organizational view of multi-agent systems. In Giorgini, P., Müller, J. P. & Odell, J (Eds.), *Agent Oriented Software Engineering IV*, LNCS 2935 (pp. 443-459). Berlin: Springer.

Fernández-López M., Gómez-Pérez A., Suárez-Figueroa M. C., Methodological guidelines for reusing general ontologies, in *Data & Knowledge Engineering*, Volume 86, July 2013,

Pages 242-275

FIPA: Communicative Act Library Specification. <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/> (2002)

Gandon F. (2002), *Ontology Engineering : À survey and a return of experience*, Rapport de recherche INRIA n°4396, mars 2002

Gandon F., (2008), *Graphes RDF et leur Manipulation pour la Gestion de Connaissances*. Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches

Garcia-Crespo A., Ruiz-Mezcua B., Lopez-Cuadrado J.L., Gomez-Berbis J.M., (2010), Conceptual model for semantic representation of industrial manufacturing processes, *Computers in Industry*, Volume 61, Issue 7, September 2010, Pages 595-612

Garcia Esparza S., O'Mahony M. P., Smyth B., Mining the real-time web: A novel approach to product recommendation, *Knowledge-Based Systems*, Volume 29, May 2012, Pages 3-11

Gašević D., Djurić D., Devedžić V., (2009) *Model driven engineering and ontology development*, Springer-Verlag New York Inc

Gero 1996: Gero, J.S. Creativity, emergence and evolution in design. *Journal Knowledge-Based Systems* volume 9, 1996, pp 435—448.

Girodon J., Monticolo D., Bonjour E., Perrier M., “KROM: an Organizational Meta-Model oriented to knowledge: A case from Ophthalmic Industry”, in the fourth IEEE International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems, Sorrento, Italy, November 2012, 6 pages.

Girodon J., Monticolo D., Bonjour E., Perrier M., “An organizational approach to designing an intelligent knowledge-based system: Application to the decision-making process in design projects”, in *Advanced Engineering Informatics*, Volume 29, Issue 3, August 2015, Pages 696–713.

Grobot B., Vallespir B., Gomes S., Bouras A., Kiritsis D.: *Advances in Production Management Systems. Innovative and Knowledge-Based Production Management in a Global-Local World - IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2014, Ajaccio, France, September 20-24, 2014, Proceedings, Part I*. IFIP Advances in Information and Communication Technology 438, Springer 2014, ISBN 978-3-662-44738-3

Grana M., Toro C., Posada J., Howlett R., Jain L., (2012), *Advances in knowledge-based and intelligent information and engineering systems in Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, IOS press.

Grijzenhout S., Marx M. (2013) The quality of the XML Web, in *international journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, Volume 19, March 2013, Pages 59-68

Gruber. T.R. A translation approach to portable ontology specifications. *Knowledge*

Acquisition , 5:199–220, 1993.

Gruber, T., Ontology, I. L. L., & Özsu, M. T. (2008). Encyclopedia of database systems. Liu & T. Ozsu, eds. Encyclopedia of Database Systems.

Gruninger M, Atefi K, Fox M. Ontologies to support process integration in enterprise engineering. Comput Math Organiz Theory 2000;6:381–94

Guizzardi, G. (2007). On Ontology, ontologies, conceptualizations, modeling languages, and (meta)models. In Vasilecas, O., Eder, J & Caplinskas, A (Eds.), Databases and Information Systems IV - Selected Papers from the Seventh International Baltic Conference DB&IS'2006 (pp. 18-39). Amsterdam: IOS Press.

Gutwein, S., 2013. Computer support for collaborative creativity (Technical report). University of Munich, Munich.

Hadjerrouit S., « Wiki as a collaborative writing tool in teacher education: Evaluation and suggestions for effective use », in Computers in Human Behavior, Volume 32, March 2014, Pages 301-312

Henkel J., Schöberl S., Alexy O., (2014), The emergence of openness: How and why firms adopt selective revealing in open innovation, Research Policy, Volume 43, Issue 5, June 2014, Pages 879-890

Hilaire, V., Koukam, A., Gruer, P., and Müller, J.-P. (2000). Formal specification and prototyping of multi-agent systems. In Omicini, A., Tolksdorf, R., and Zambonelli, F., editors, Engineering Societies in the Agents' World, number 1972 in Lecture Notes in Artificial Intelligence. Springer Verlag.

Hilthred, P., & Kimble, C. (2004). Knowledge networks: Innovation through communities of practice. Hershey: Idea Group Publishing.

Hodson H., (2013), Crowdsourcing grows up as workers unite, New Scientist, Volume 217, Issue 2903, 9 February 2013, Pages 22-23

Howard, T.J., Culley, S.J., Dekoninck, E., 2008. Describing the creative design process by the integration of engineering design and cognitive psychology literature. Des. Stud. 29, 160–180. doi:10.1016/j.destud.2008.01.001

Howard T. Welser, Patrick Underwood, Dan Cosley, Derek Hansen, Laura W. Black, Wiki Networks: Connections of Creativity and Collaboration, Analyzing Social Media Networks with NodeXL, 2011, Pages 247-271

IDSPACE (2008-2010), Open Universiteit Nederland, http://cordis.europa.eu/projects/rcn/85780_en.html

Iqbal R., Masrah Azrifah Azmi M., Aida M. and Nurfadhlin Mohd S., An Analysis of Ontology Engineering Methodologies: A Literature Review, in Research Journal of Applied

Sciences, Engineering and Technology 6(16): 2993-3000, 2013

Idea Garden (2012-2015), Media Interaction Lab, University of Applied Sciences Upper Austria, Hagenberg, <http://mi-lab.org/>

Issa F., Monticolo D., Gabriel A., Mihaita S., “An Intelligent System based on Natural Language Processing to support the brain purge in the creativity process”, International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'14), Hong-Kong, March 2014, 5 pages.

Izadi, S., et al., 2003. Dynamo : a public interactive surface supporting the cooperative

Jabrouni H., Kamsu-Foguem B., Geneste L., Vaysse C.: Continuous improvement through knowledge-guided analysis in experience feedback. Eng. Appl. of AI 24(8): 1419-1431 (2011)

Jackson, S. E., Schuler, R. S. & Werner, S. (2009). Managing Human Resources (11th ed.). New York: South-Western, Cengage Learning. 668 p.

James K., Drown D., Organizations and Creativity: Trends in Research, Status of Education and Practice, Agenda for the Futur in Handbook of Organizational Creativity, 2012, Pages 17-38

Jamshaid A., Chang E., Khadeer Hussain O., Khadeer Hussain F., Ontology usage analysis in the ontology lifecycle: A state-of-the-art review, Knowledge-Based Systems, Volume 80, May 2015, Pages 34-47

Jemielniak D., Kociatkiewicz J., Handbook of Research on Knowledge-Intensive Organizations, in Information Science Reference (an imprint of IGI Global), ISBN 978-1-60566-176-6

Jovanovic J., Gasevic D., Achieving knowledge interoperability: An XML/XSLT approach, in Expert Systems with Applications 29 (2005) 535–553.

Jaekoo J., Namhun K., Richard A. W., Ling R., Young-Jun S., Yeong-gwang O., Seungho L., Agent-based simulation of affordance-based human behaviors in emergency evacuation, in Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 32, March 2013, Pages 99-115

Jennings, N. R., Sycara, K., and Wooldridge, M. (1998). A roadmap of agent research and development. Autonomous Agent and Multi-Agent Systems, 1.

John F Sowa, Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine.: Addison–Wesley, 1984.

Jones, A., Kendira, A., Gidel, T., Moulin, C., Lenne, D., Barthès, J. P., & Guerra, A., 2012. Evaluating Collaboration in Table-centric Interactive Spaces, in: AVI workshop on Designing Collaborative Interactive Spaces, DCIS 2012, pp. 1-10.

Kamsu-Foguem B., Coudert T., Béler C., Geneste L.: Knowledge formalization in experience

feedback processes: An ontology-based approach. *Computers in Industry* 59(7): 694-710 (2008)

Kang D., Lee J., Choi J., Kim K., An ontology-based Enterprise Architecture, *Expert Systems with Applications*, Volume 37, Issue 2, March 2010, Pages 1456-1464

Karvounarakis G., Alexaki S., Christophides V., Plexousakis D., and. Schol M. RQL: A Declarative Query Language for RDF. In *Proceedings of the Eleventh International World Wide Web Conference (WWW'02)*, Honolulu, Hawaii, USA, May7-11 2002.

Khan S., Safyan M., Semantic matching in hierarchical ontologies, *Semantic matching in hierarchical ontologies*

Kazem S., Hamid S., Adlina Wan Fara, Wan Mansor, « Discovering the Potential of Wiki through Collaborative Story Writing », *Social and Behavioral Sciences*, Volume 66, 7 December 2012, Pages 337-342

Kerr, N. L., & Tindale, R. S. (2004). Group performance and decision making. *Annual Review of Psychology*, 55, 623–655.

Klyne, G., Carroll, J.J., (2004), Resource description framework (RDF): Concepts and abstract syntax. Technical Report, World Wide Web Consortium. <http://www.w3.org/TR/rdfconcepts/>

Koh Y. J., Shyam Sundar S., (2010), Effects of specialization in computers, web sites, and web agents on e-commerce trust, in the *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 68, Issue 12, December 2010, Pages 899-912

Kohn, N. W., & Smith, S. M. (2015). Collaborative fixation: Effects of others' ideas on brainstorming. *Journal of Applied Cognitive Psychology*.

Kountouriotis V., Thomopoulos S., Papelis Y., An agent-based crowd behaviour model for real time crowd behaviour simulation, *Pattern Recognition Letters*, Volume 44, 15 July 2014, Pages 30-38

Krichner K. Schiller F., (2011), The influence of Collaborative Web on Knowledge Management, Organizational Structure and Culture in Knowledge Intensive Companies, in *Business Organizations and Collaborative Web*, Business Science Referenc, IGI Global. P184-204.

Kump B., Moskaliuk J., Dennerlein S., Ley J., Tracing knowledge co-evolution in a realistic course setting: A wiki-based field experiment, *Computers & Education*, Volume 69, November 2013, Pages 60-70

Labrou, Y., Finin, T., Mayfield, J.: KQML as an agent communication language. In: Brandshaw, J. (ed.) *Software Agents*. MIT Press, Cambridge (1997)

Lahoud I., Monticolo D., Hilaire V., "Mapping the Semantic Web to SQL Query to Extract Knowledge", in the *International Journal of E-Technology*, Volume: 3 , Issue: 2 (May

2012). 12 pages.

Lahoud I., Monticolo D., Hilaire V., Gomes S., Bonjour E., “A multisources knowledge management system”, 14th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing (INCOM'12), 23-25 May 2012, Bucharest, Romania

Lahoud I., Monticolo D., Hilaire V., Gomes S., “A metamodeling and transformation approach for knowledge extraction”, The Fourth International Conference on Networked Digital Technologies (NDT'2012), 24-26 April 2012, Dubai, UAE

Langevin J., Wen J., Gurian P. L., Simulating the human-building interaction: Development and validation of an agent-based model of office occupant behaviors, *Building and Environment*, Volume 88, June 2015, Pages 27-45

Larson, J. R. (2010). *In search of synergy in small group performance*. New York, NY: Psychology Press.

Leclercq, E., Savonnet, M., Naubourg, P., 2012. Traitement des variabilités métier dans les Systèmes d'Information biologiques, in: XXXeme Congrès INFORSID. Montpellier, France, pp. 173–188.

Leistner F., *Mastering Organizational Knowledge Flow*, Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2010. ISBN 978-0-470-55990-1

Leuf B., Cunningham W., *The Wiki Way: Quick Collaboration on the Web*, Addison-Wesley Longmann, 2001.

Le Masson P., Weil B. et Hatchuel A., *Les processus d'innovation*, Hermès, 2006, p. 82.

Little E. G., Rogova G. L., Designing ontologies for higher level fusion, in *Information Fusion*, Volume 10, Issue 1, January 2009, Pages 70-82

López-Ortega O., Computer-assisted creativity: Emulation of cognitive processes on a multi-agent system, *Expert Systems with Applications*, Volume 40, Issue 9, July 2013, Pages 3459-3470

Lubart, T., 2003. *Psychologie de la créativité*. Armand Colin, Paris.

Luo S., Du Y., Liu P., Xuan Z., Wang Y., A study on coevolutionary dynamics of knowledge diffusion and social network structure, *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issue 7, 1 May 2015, Pages 3619-3633

Masson D., *Inspirez ! Explorez ! Soutien à la créativité en conception d'interfaces homme-machine*, Thèse soutenue au Laboratoire d'Informatique de Grenoble, septembre 2014

McMullan, W. E., & Kenworthy, T. P. *Creativity and Entrepreneurial Performance, a General Scientific Theory*, Springer International, 2015, ISBN : 978 3 319 047256

Mahdjoub M., Monticolo D., Gomes S. and Sagot J.C., “A collaborative Design for Usability approach supported by Virtual Reality and a Multi-Agent System embedded in a PLM”, *Computer-Aided Design*, DOI:10.1016/j.cad.2009.09.009, 17p, 2009

Majchrzac A., C. Wagner, D. Yates, Corporate wiki users: results of a survey, in: Proceedings of the ACM International Symposium on Wikis (Wikisym 2006), Odense, Denmark, 2006.

Magnini B., Cavaglià G. 2000. Integrating Subject Field Codes into WordNet. Actes de LREC-2000, Second International Conference on Language Resources and Evaluation, Athènes, Grèce, pp. 1413-1418.

Manning C.D., Raghavan P. & Schütze H.. Introduction to Information Retrieval, Cambridge University Press, New York, NY, USA, 2008.

Mariel A. Ale, Carlos M. Toledo, Omar Chiotti, María R. Galli, A conceptual model and technological support for organizational knowledge management, in Science of Computer Programming, Volume 95, Part 1, 1 December 2014, Pages 73-92

Massetti, B. (1996). An Empirical Examination of the Value of Creativity Support Systems on Idea Generation. MIS Quarterly, 20(1), 83–97.

Meersman D., Dillon T. 2010. The Open Innovation Paradigm and the Semantic Web: An Ontology for Distributed Product Innovation. OTM Workshops 2010: pp.49-52.

Meijer K., Frasincar F., Hogenboom F., (2014), A semantic approach for extracting domain taxonomies from text, in the international journal of Decision Support Systems, Volume 62, June 2014, Pages 78-93

Meroo-Peuela, A.; Ashkpour, A.; van Erp, M.; Mandemakers, K.; Breure, L.; Scharnhorst, A.; Schlobach, S.; and van Harmelen, F., (2014), Semantic Technologies for Historical Research: A Survey, Semantic Web Journal, 588-1795. 2014.

Miller G. 1995. Wordnet: A lexical database. Actes de ACM 38, pp. 39-41.

Moldoveanu M.C., (2000), Foundations of the open society: discourse ethics and the logic of inquiry, The Journal of Socio-Economics, Volume 29, Issue 5, Pages 403-442

Monticolo D., Hilaire V., Koukam A., Gomes S., “OntoDesign; A domain ontology for building and exploiting project memories in product design projects”, International Conference in Knowledge Management in Organizations, Lecce Italia, september 2007, 6p.

Monticolo D., Hilaire V., Gomes S. and Koukam A., “A Multi Agents Systems for Building Project Memories to Facilitate Design Process”, International Journal in Integrated Computer Aided Engineering, volume 15, Number 1/ 2008, pages 3-20.

Monticolo D., Gomes S., Hilaire V., Koukam A.: “Collaborative Knowledge Evaluation with a Semantic Wiki – WikiDesign”. In the International Conference of Enterprise Information System (ICEIS) (1) 2010: 133-141

Monticolo D., Morel L., Boly V., Lahoud I., “Wiki-I: a Semantic Wiki to support the Ideas development and knowledge sharing in innovation activities”, in The 2012 IAENG International Conference on Industrial Engineering Hong Kong, 14-16 March, 2012

Monticolo D., Gomes S. “Collaborative Knowledge Evaluation with a Semantic Wiki: WikiDesign”, in the International Journal of e-Collaboration, Volume 7, Issue 3. Copyright © 2012. 12 pages.

Monticolo D., Lahoud I., Bonjour E., “SemKnow: A Multi-Agent Platform to manage distributed knowledge by using ontologies”, in The 2012 IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA 2012) Hong Kong, 14-16 March, 2012

Monticolo D., Mihaita S., "A multi Agent System to Manage Ideas during Collaborative Creativity Workshops", International Journal of Future Computer and Communication (IJFCC), vol 3., n°1, February 2014, P66-71.

Monticolo D., Mihaita S., Darwich H., Hilaire V., “An agent-based system to build project memories during engineering projects” in the International Journal of Knowledge-Based Systems, September 2014, Volume 68, pages 88-102.

Monticolo D., Badin J., Gomes S., Bonjour E., “A meta-model for knowledge configuration management to support collaborative engineering”, in Computers in Industry, Volume 66, January 2015, Pages 11-20,

Morato J., Marzal M. A., Llorens J., Moreira J. 2004. Wordnet Applications. Proc. Of the 2nd Int. Conf. Global Wordnet.

Morbach J., Wiesner A., Marquardt W., OntoCAPE—A (re)usable ontology for computer-aided process engineering, Computers & Chemical Engineering, Volume 33, Issue 10, 14 October 2009, Pages 1546-1556

Moskaliuk J., Kimmerle J., Cress U., « Collaborative knowledge building with wikis: The impact of redundancy and polarity », Computers & Education, Volume 58, Issue 4, May 2012, Pages 1049-1057

Murray E. J., Knowledge Management, Organizational Memory and Transfer Behavior: Global Approaches and Advancements, IGI Global edition 2009, ISBN 978-1-60566-140-7

Nascimento, F.A.M. do, Oliveira, M.F.S., Wagner, F.R., 2012. A model-driven engineering framework for embedded systems design. Innovations Syst Softw Eng 8, 19–33.

Nacer H., Aissani D., (2014), Semantic web services: Standards, applications, challenges and solutions, Journal of Network and Computer Applications, may 2014

Nemiro, J., 2004. Creativity in Virtual Teams: Key Components for Success. Pfeiffer, New York.

Nettleton D. (2013), Analysis of Data on the Internet III : Online Social Network Analysis. In Commercial Data Mining, Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects. Morgan Kaufmann publishing, ISBN: 978-0-12-416602-8, 310 pages

Nijstad, B. A., & Stroebe, W. (2006). How the group affects the mind: A cognitive model of idea generation in groups. Personality and Social Psychology Review, 10, 186–213.

Noy, N.F. & McGuinness, D.L. (2001), *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology*, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, CA.

OAEI (2013). *Ontology Alignment Evaluation Initiative*. URL: <http://oei.ontologymatching.org/>.

Ogot, M., Okudan, G.E., 2007. Systematic creativity methods in engineering education: a learning styles perspective. *Int. J. Eng. Educ.* 22, 566–576.

Omicini, A., Ricci, A., Viroli, M., Castelfranchi, C., & Tummolini, L. (2004). Coordination artifacts: Environment-based coordination for intelligent agents. In: C. Castelfranchi, W. Lewis Johnson (Eds.), *Proceedings of the First International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* (pp. 286–293). New York, NY: ACM Press.

Ovadia S., (2013), *The Librarian's Guide to Academic Research in the Cloud*, Chandos Publishing, ISBN: 978-1-84334-715-6, 214 pages

OMG, *Unified Modeling Language: Superstructure*, version 2.1.2, Object Modeling Group, November 2007.

Otero-Cerdeira L., Rodríguez-Martínez F. J., Gómez-Rodríguez A., *Ontology matching: A literature review*, *Expert Systems with Applications*, Volume 42, Issue 2, 1 February 2015, Pages 949-971

Pan Y., Xu Y., Wang X., Zhang C., Ling H., Lin J., *Integrating social networking support for dyadic knowledge exchange: A study in a virtual community of practice*, *Information & Management*, Volume 52, Issue 1, January 2015, Pages 61-70

Park J. G., Lee J., *Knowledge sharing in information systems development projects: Explicating the role of dependence and trust*, *International Journal of Project Management*, Volume 32, Issue 1, January 2014, Pages 153-165

Parreiras F. S., Staab S., *Using ontologies with UML class-based modeling: The TwoUse approach*, *Data & Knowledge Engineering*, Volume 69, Issue 11, November 2010, Pages 1194-1207

Paul, A. K., & Anantharam R. N. (2003). Impact of people management practices on organisational performance: analysis of a casual mode. *International Journal of Human Resource Management*, 14, 1246–1266.

Pecina P., Dušek O., Goeuriot L., Jan Hajič, Jaroslava Hlaváčová, Gareth J.F. Jones, Liadh Kelly, Johannes Leveling, David Mareček, Michal Novák, Martin Popel, Rudolf Rosa, Aleš Tamchyna, Zdeňka Urešová, *Adaptation of machine translation for multilingual information retrieval in the medical domain*, *Artificial Intelligence in Medicine*, Volume 61, Issue 3, July 2014, Pages 165-185

Pettigrew, A., & Fenton, E. (2001). *The innovating organization*. London: Sage.

Pinzón C. I., Bajo J., De Paz J. F., Corchado J. M., (2011), *S-MAS: An adaptive hierarchical distributed multi-agent architecture for blocking malicious SOAP messages within Web Services environments*, in *Expert Systems with Applications*, Volume 38, Issue

5, May 2011, Pages 5486-5499

Puccio, G.J., Cabra, J.F., 2012. Idea generation and idea evaluation: cognitive skills and deliberate practices, in: M.D. Mumford (Ed.), *Handbook of Organizational Creativity*. Academic Press, San Diego, pp. 189–215.

Riedl C., May N., Finzen J., Stathel S., Kaufman V., Krcmar H. 2009. An Idea Ontology for Innovation Management. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 5(4), pp. 1-18. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1648841>

Reiter-Palmon, R., Herman, A., & Yammarino, F. (2008). Creativity and cognitive processes: Multi-level linkages between individual and team cognition. *Innovation: A multi-layer perspective*. New York, NY: Elsevier.

Richards D., A social software/Web2.0 approach to collaborative knowledge engineering, *international journal of Information Sciences*, (2009).

Robertson, S., 2010. The Probabilistic Relevance Framework: BM25 and Beyond. *Found. Trends® Inf. Retr.* 3, 333–389. doi:10.1561/15000000019

Robledo I. S., Hester K. S., Peterson D., Mumford M., Creativity in Organizations: Conclusions, *Handbook of Organizational Creativity*, Academic Press Edition, doi:10.1016/B978-0-12-374714-3.00027-6, 2015

Rosaci D., Sarnè G.M.L., (2014), Multi-agent technology and ontologies to support personalization in B2C E-Commerce, in *international journal of Electronic Commerce Research and Applications*, Volume 13, Issue 1, January–February 2014, Pages 13-23

Rosse C. and Mejino J.V.L., (2003), A reference ontology for biomedical informatics: the foundational model of anatomy. *J. Biomedical Informatics* , 36:478–500, 2003.

Runco, M. A. (2014). *Creativity: Theories and themes: Research, development, and practice*. Elsevier, ISBN: 978-0-12-410512-6, 1246p.

Safar, B., & Reynaud, C. (2009). Alignement d'ontologies basé sur des ressources complémentaires illustration sur le système taxomap. *Technique et Science Informatiques*, 28, 1211–1232.

Seaborne A., RDQL - a query language for rdf, w3c member submission 9 january 2004, 2004. <http://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-RDQL-20040109/>.

Seaborne A. and Prud'hommeaux E.. SPARQL Query Language for RDF. Technical Report <http://www.w3.org/TR/2006/CR-rdf-sparql-query-20060406/>, W3C, April2006.

Sichman, J. S., Dignum, V., and Castelfranchi, C. (2005). Agents' Organizations: A Cocise Overview. *Journal of the Brazilian Computer Society (JBACS) - Special Issue on Agents Organizations*, 11(1):3–8.

Singh, M.P., Huhns, M.N.: *Service-Oriented Computing: Semantics, Processes, Agents*.

Wiley, Chichester (2005)

Singh, A. V. and Wombacher, A. and Aberer, K. (2007), « Personalized Information Access in a Wiki Using Structured Tagging. », In: On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2007 Workshops. pp. 427- 436. Lecture Notes in Computer Science 4805. Springer Verlag. ISSN 0302-9743 ISBN 978-3-540-76887-6

Staab, S. & Studer, R. (eds.) (2004), Handbook on Ontologies , Springer, Berlin, Heidelberg.
Stokes Dustin R., An Ontology of Minimal Creativity. July 2009. http://stokes.mentalpaint.net/Research_files/Ontology-minimalcreativity-july2009.pdf

Styhre, A., & Sundgren, M. (2005). Managing creativity in organizations: Critique and practices. Palgrave Macmillan Edition. ISBN-10: 1-4039-4768-6

Souza, E.F., Oliveira, L.E., Falbo, R.A., Vijaykumar, L., 2012. Using Ontologies to Build a Database to Obtain Strategic Information in Decision Making., in: Malucelli, A., Bax, M. (Eds.), ONTOBRAS-MOST, CEUR Workshop Proceedings. CEUR-WS.org, pp. 200–205.

Souzis A., Building a Semantic Wiki. IEEE Intelligent Systems 20(5): 87-91 (2005)

Suárez-Figueroa M., Neon methodology for Building Ontology Networks: Specification, Scheduling and Reuse (Ph.D. thesis) Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid, Spain, 2010.

Sundholm, H., Artman, H., Ramberg, R., 2004. Backdoor creativity: collaborative creativity in technology supported teams, in: F. Darses, R. Dieng, C. Simone, and M. Zacklad (Eds.), Cooperative Systems Design: Scenario-Based Design of Collaborative Systems. IOS Press, Amsterdam, pp. 99–114.

Sabater-Mir J., Vercouter L., 2013. Trust and reputation in multi-agent systems, chapter 9 in Multi-Agent Systems 2nd edition, G. Weiss (ed.), MIT Press.

Santoso, H.A., Haw, S.-C., Abdul-Mehdi, Z.T., 2011. Ontology extraction from relational database: Concept hierarchy as background knowledge. Knowledge-Based Systems 24, 457–464.

Schneider K., (2009), Experience and Knowledge Management in Software Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-95879-6

Sidhu A., Dillon T., Chang E., and. Sidhu B.S., (2005), Protein ontology development using OWL. In Proc. of the First OWL Experiences and Directions Workshop , volume 188 of CEUR Electronic Workshop Proceedings.

Schaffert S. , IkeWiki: A Semantic Wiki for Collaborative Knowledge Management, in the 1st International Workshop on Semantic Technologies in Collaborative Applications, STICA, Vol. 6 (2006)

Scheer A.W., ARIS — business process frameworks, In Berlin: Springer; 1998

Searle J., Speech Acts, Cambridge University Press 1969, ISBN 0-521-09626-X.

Serna Edgar M., Serna Ae., Ontology for knowledge management in software maintenance,

International Journal of Information Management, Volume 34, Issue 5, October 2014, Pages 704-710

Shen J., Yang Y., (2004), Extending RDF in distributed knowledge-intensive applications, Future Generation Computer Systems, Volume 20, Issue 1, 15 January 2004, Pages 27-46

Simperl E., Reusing ontologies on the Semantic Web: A feasibility study, in Data & Knowledge Engineering, Volume 68, Issue 10, October 2009, Pages 905-925

Simperl E., Lucsak-Rosch M., Collaborative ontology engineering : a survey, in The Knowledge Engineering Review, Volume 29, Issue 01, January 2014, pp 101-131

Sintek M., (2001), « TRIPLE – A Query Language for the Semantic Web », Workshop on Semantic Web-based E-Commerce and Rules Markup Languages, Vienna, 2001, 8pages.

Shan, L. and Zhu, H., 2004. CAMLE \square : A Caste-Centric Agent Modelling Language and Environment. In 3rd International Workshop on Software Engineering for Large-Scale Multi-Agent Systems, SELMAS'2004. Edinburg, United Kingdom, pp. 1–13.

So, Y., & Chon, K. (2005, July). A performance model for tree-structured multiagent organizations in faulty environments. In O. Boissier, V. Dignum, E. Matson, & J. Sichman (Eds.), Proceedings of the international workshop on organizations in multi-agent systems (ooop). Utrecht, The Netherlands.

Stellato A., (2012), Dictionary, Thesaurus or Ontology? Disentangling Our Choices in the Semantic Web Jungle, in the international journal of Integrative Agriculture, Volume 11, Issue 5, May 2012, Pages 710-719

Sultan N., Knowledge management in the age of cloud computing and Web 2.0: Experiencing the power of disruptive innovations, International Journal of Information Management, Volume 33, Issue 1, February 2013, Pages 160-165

Tahraoui M. A, Pinel-Sauvagnat K., Laitang C., Boughanem M., Kheddouci H., Ning L., (2013), A survey on tree matching and XML retrieval, in the international journal of Computer Science Review, Volume 8, May 2013, Pages 1-23

Thompson Lisa A., O'Bryant Cindy L., « Use of an internet website wiki at oncology Advanced Pharmacy Practice Experiences (APPE) and the effects on student confidence with oncology references », Currents in Pharmacy Teaching and Learning, Volume 6, Issue 5, September–October 2014, Pages 652-658

Teck Heng L., Marimuthu R., « Let's Wiki in Class », Social and Behavioral Sciences, Volume 67, 10 December 2012, Pages 269-274

Tidd, J., Bessant, J., 2009. Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change, 4th ed. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Tongo C. I. A. A Stakeholder Model for Managing Knowledge Assets in Organizations, in New Research on Knowledge Management Models and Methods, Edited by Huei-Tse Hou,

ISBN 978-953-51-0190-1, published by InTech, 2012.

Trinkunas, J., Vasilecas, O., 2007. Building ontologies from relational databases using reverse engineering methods, in: Proceedings of the 2007 International Conference on Computer Systems and Technologies, CompSysTech '07. ACM, New York, NY, USA, pp. 13:1–13:6.

Uschold M, King M, Moralee S, Zorgios Y. The enterprise ontology. Knowledge Eng Rev 1998;13(1):31–89

VanGundy A. B., (2004) 101 Activities for Teaching Creativity and Problem Solving, Pfeiffer editions, 410p., ISBN : 9780787976736

Verstaevel N., Régis C., Gleizes M. P., Robert F., Principles and Experimentations of Self-organizing Embedded Agents Allowing Learning from Demonstration in Ambient Robotic, Procedia Computer Science, Volume 52, 2015, Pages 194-201

Von Stamm, B., 2008. Managing Innovation, Design and Creativity. John Wiley & Sons, Chichester, UK.

Vrandecic D., Krötzsch M. Reusing Ontological Background Knowledge in Semantic Wikis. In Max Völkel, Sebastian Schaffert, Stefan Decker, eds.: Proceedings of the First Workshop on Semantic Wikis – From Wikis to Semantics. 2006.

Wang, H Ohsawa Y., Idea discovery: A scenario-based systematic approach for decision making in market innovation. Expert Systems with Applications. Vol. 40, pp. 429–438, 2013

Wang J., Zou B., Wang D., Xing M., « Students' perception of a wiki platform and the impact of wiki engagement on intercultural communication », in System, Volume 41, Issue 2, June 2013, Pages 245-256

Warr, A., O'Neill, E., 2005. Understanding design as a social creative process, in: Proceedings of the 5th Conference on Creativity & Cognition. ACM, pp. 118–127.

Wechsler D., (2014), Crowdsourcing as a method of transdisciplinary research—Tapping the full potential of participants, in Futures 64, p618–626

Weggeman M. Knowledge Management: The Modus Operandi for a Learning Organization. In J. F. Schreinemakers ed, Knowledge Management: Organization, Competence and Methodology, Proc. of ISMICK'96, Rotterdam, the Netherlands, Wurzburg:Ergon Verlag, Advances in Knowledge Management, vol. 1, 21-22 Octobre 1996, p. 175-187.

Westerski, A., 2011. Gi2MO: Interoperability, linking and filtering in idea management systems, in: Proceedings of the 8th Extended Semantic Web Conference. Springer, pp. 1-5.

Wooldridge, M. (1997). Agent-based software engineering. IEE Proceedings on Software Engineering, pages 26–37.

Wooldridge, M. (2002). Methodologies. In An Introduction to Multiagent Systems, pages 225–244. Wiley & Sons, Chichester, England.

Yaich R., O. Boissier, P. Jaillon, G. Picard., (2011). Social-compliance in trust management

within virtual communities. In 3rd International Workshop on Web Intelligence and Communities (WI&C'11) at the International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT 2011). IEEE Computer Society.

Yeh Yu-chu, Yeh Yi-ling, Chen Yu-Hua, From knowledge sharing to knowledge creation: A blended knowledge-management model for improving university students' creativity, *Thinking Skills and Creativity*, Volume 7, Issue 3, December 2012, Pages 245-257

Yeom K., Bio-inspired self-organization for supporting dynamic reconfiguration of modular agents, *Mathematical and Computer Modelling*, Volume 52, Issues 11–12, December 2010, Pages 2097-2117

Zagalo, N., Branco P., (2015). *Creativity in the Digital Age*. P. Branco (Ed.). Springer. ISBN 978-1-4471-6680-1

Zhao H., Kallander W., Johnson H., Wu S. F., «SmartWiki: A reliable and conflict-refrained Wiki model based on reader differentiation and social context analysis », *Knowledge-Based Systems*, Volume 47, July 2013, Pages 53-64

Zhang D., Sun Lee W., (2004), Learning to integrate web taxonomies, in the international journal of Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Volume 2, Issue 2, 15 December 2004, Pages 131-151

Zhong Jian, Aydina Atilla, McGuinness Deborah L., (2009), *Journal of Structural Geology*, Volume 31, Issue 3, March 2009, Pages 251-259

Zeng, L., Proctor, R.W., Salvendy, G., 2011. Can traditional divergent thinking tests be trusted in measuring and predicting real-world creativity? *Creat. Res. J.* 23, 24–37. doi:10.1080/10400419.2011.545713

Zouaq A., Nkambou R., A survey of domain ontology Engineering : Methods and Tools, i *Advances in Intelligent Tutoring Systems, Studies in Computational Intelligence* Volume 308, 2010, pp 103-119